



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option : Réseaux électriques

Réf:.....

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER

Thème:

*Influence de la polarité sur l'amorçage
des intervalles d'air pointe-barrière polluée-
plan soumis sous tension continue*

Présenté par :

Logbi LAMARI

Proposé et dirigé par :

Dr. Nassima M'ZIOU

Promotion : Juin 2012

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option : Réseaux électriques

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER

Thème:

*Influence de la polarité sur l'amorçage
des intervalles d'air pointe-barrière polluée-plan
soumis sous tension continue*

Présenté par :

Logbi LAMARI

Avis favorable de l'encadreur :

Dr. Nassima M'ZIOU

Avis favorable du Président du Jury

Cachet et signature

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option : Réseaux électriques

Thème :

*Influence de la polarité sur l'amorçage
des intervalles d'air pointe-barrière polluée-plan
soumis sous tension continue*

Proposé par : Dr. Nassima M'ZIOU

Dirigé par : Dr. Nassima M'ZIOU

Résumé

L'objectif de notre travail est d'étudier l'influence des barrières isolantes polluées sur la tension d'amorçage des intervalles d'air sous tension continue, dans un système d'électrodes pointe-plan. La barrière utilisée est en verre a été étudié pour différents paramètres tels que, la position de la barrière, l'épaisseur de la barrière isolante ainsi que la conductivité superficielle. Les résultats expérimentaux obtenus sont analysés, interprétés et comparés avec ceux obtenues par d'autres chercheurs.

Les résultats de nos travaux sont réalisés au Laboratoire de Haute Tension de l'université de BISKRA dans le domaine de la rigidité diélectrique de l'air dans système pointe-barrière-plan.

Mots clés : verre, barrières isolantes, intervalle d'air, pointe – plan, tension disruptive, polarité positive, polarité négative, barrière polluée.

ملخص

و الهدف من عملنا هو دراسة تأثير الحواجز العازلة الملوثة على التوتر القذح لمجالات الهواء تحت التوتر المستمر، في نظام نقطة(رأس مدبب)- سطح مستوي. الحاجز المستعمل هو الزجاج يستخدم لأجل المعايير التأثير مثل وضعية الحاجز ، وسمك الحاجز العازل وأيضا الموصلية السطح . و قد تم تحليل النتائج وتفسيرها ومقارنتها مع تلك التي حصلنا عليها من قبل الباحثين الآخرين.

النتائج أجريناها في مختبر التوتر العالي بجامعة بسكرة . في مجال صلابة العازل الكهربائي في النظام نقطة(رأس مدبب)- حاجز- سطح .

الكلمات المفاتيح: الزجاج , الحاجز العازل, مجال الهواء, نظام المسري نقطة (رأس مدبب)- سطح مستوي, التوتر التخريب, القطبية الموجبة, القطبية السالبة, الحاجز الملوثة.

الإهداء

لك الحمد ربي على عظيم فضلك وكثير عطائك
انه لا يسعنا في هذه اللحظات التي لعنا لا نمك اغلي منها أن نهدي هذا العمل
المتواضع إلى:

فضاء المحبة و بحر الحنان , ريحانة الدنيا وبهجتها: أمي الغالية حفظها الله.
الذي علمني أن الحياة كفاح و نضال: أبي العزيز حفظه الله.
الأعمدة التي أظل ارتكز عليها للصمود إخوتي, علاء, فارس.
الزهر الفتية والمبتهجة أختي : نجود .

المعادلة التي ترسم منحني حياتي: هشام, عماد, جلال, عبد الله, فيصل
من قضى زهرة شبابه في محراب العلم المقدس.
من حمل هذه الرسالة و تصفح أوراقها بعدي .

العقبي

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

Chapitre I : Mécanismes de décharge électrique

I.1 Introduction	2
I.2 Mécanismes de décharge électrique	3
I.2.1 Mécanisme de Townsend	3
I.2.1.1 Tube de la décharge de Townsend	4
I.2.2 Mécanisme des streamers	8
I.3 Influence de la polarité de la tension appliquée	10
I.3.1 Décharges pointe positive-plan	11
I.3.2 Décharges pointe négative-plan	11
I.4 Effet de couronne	11
I.5 Conclusion	13

Chapitre II : Influence de la barrière isolante sur rigidité diélectrique de l'air

II.1 Introduction	14
II.2 Mécanismes de rupture diélectrique des isolants solides	15
II.2.1 Mécanisme Electrique	15
II.2.2 Mécanisme Thermique	16
II.2.2.1 Rupture locale	16
II.2.2.2 Rupture global	17
II.3 Influence d'une barrière isolante dans les intervalles d'air	18
II.3.1 Influence du type de tension appliquée	18
II.3.2 Influence de la polarité de l'électrode pointe	18
II.3.3 Influence de la position de la barrière	19
II.3.4 Influence de la largeur de la barrière	19
II.3.5 Influence de l'épaisseur et de la permittivité	19
II.3.6 Influence du matériau de la barrière	20
II.3.7 Influence de la pollution	20
II.4 Formes des décharges observées dans le système pointe-plan avec barrière isolante	20

II.4.1 Décharge directe	21
II.4.1.a Cas où la décharge perfore la barrière	21
II.4.1.b Cas où la décharge contourne la barrière	21
II.4.2 Décharge par étape	21
II.5 Conclusion	23

Chapitre III : Résultats obtenues et interprétations

III.1 Introduction	24
III.2 Dispositif expérimental	24
III.2.1 Circuit d'essai du laboratoire de haute tension (Université de Biskra)	24
III.2.1.1 Équipement de la station d'essai	24
III.2.1.2 Transformateur d'essai	25
III.2.1.3 Transformateur de réglage	25
III.2.1.4 Pupitre de commande	25
III.2.1.5 Appareils de mesure et de protection	26
III.2.1.6 Diviseur de tension	26
III.2.1.7 Circuit d'essai à tension continue	26
III.2.1.7.a Principe de fonctionnement	27
III.2.1.7.b Avantage	27
III.3 Arrangement "pointe-barrière-plan "	29
III.4 Conditions atmosphériques	30
III.4.1 Facteur de correction atmosphérique	30
III.4.2 Facteur de correction de densité de l'air de l'humidité	31
III.5 Correction de la tension disruptive (claquage)	31
III.6 Résultats et interprétations	35
III.6.1 Essais sans barrière	35
III.6.2 Effet de la distance inter-électrodes	35
III.6.3 Effet de l'insertion de la barrière	35
III.6.4 Effet de la position de la barrière	36
III.6.5 Influence des conductivités superficielles	43
III.6.6 Influence de la position de la barrière sur la tension disruptive pour différentes épaisseurs	50

III.6.7 Influence des épaisseurs pour différentes conductivités	57
III.7 Conclusion	66
Conclusion générale	67
Références bibliographiques	

Liste des tableaux

N°	Tableau	Page
III.1	Application des facteurs de corrections	34
III.2	Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et positions sous tension continue positive (épaisseur de 3mm)	37
III.3	Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et positions sous tension continue négative (épaisseur de 3mm)	38
III.4	Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et position sous tension continue positive (épaisseur de 5 mm)	39
III.5	Tension disruptive de en fonction des différentes conductivités et positions sous tension continue négative (épaisseur de 5 mm)	40
III.6	Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et positions sous tension continue positive (épaisseur de 8 mm)	41
III.7	Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et positions sous tension continue négative (Épaisseur de 8mm)	42
III.8	Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et positions sous tension continue positive (épaisseur de 3 mm)	44
III.9	Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et positions sous tension continue négative (épaisseur de 3 mm)	45
III.10	Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et positions sous tension continue positive (épaisseur de 5mm)	46
III.11	Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et positions sous tension continue négative (épaisseur de 5 mm).	47
III.12	Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et positions sous tension continue positive (épaisseur de 8mm)	48
III.13	Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et position sous tension continue négative (épaisseur de 8 mm)	49
III.14	Tension disruptive en fonction des différentes épaisseurs et positions sous tension continue positive (Pour une $\gamma_1 = Cste$)	51

III.15	Tension disruptive en fonction des différentes épaisseurs et positions sous tension continue négative (Pour une $\gamma_1 = \text{Cste}$)	52
III.16	Tension disruptive en fonction des différentes épaisseurs et positions sous tension continue positive (Pour une $\gamma_2 = \text{Cste}$)	53
III.17	Tension disruptive en fonction des différentes épaisseurs et positions sous tension continue négative (Pour une $\gamma_2 = \text{Cste}$)	54
III.18	Tension disruptive en fonction des différentes épaisseurs et positions sous tension continue positive (Pour une $\gamma_3 = \text{Cste}$)	55
III.19	Tension disruptive en fonction des différentes épaisseurs et positions sous tension continue négative (Pour une $\gamma_3 = \text{Cste}$)	56
III.20	Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et épaisseurs sous tension continue positive (Pour une position = 0cm)	58
III.21	Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et épaisseurs sous tension continue négative (Pour une position = 0cm)	59
III.22	Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et épaisseurs sous tension continue positive (Pour une position = 2cm)	60
III.23	Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et épaisseurs sous tension continue négative (Pour une position = 2cm)	61
III.24	Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et épaisseurs sous tension continue positive (Pour une position = 4cm)	62
III.25	Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et épaisseurs sous tension continue négative (Pour une position = 4cm)	63
III.26	Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et épaisseurs sous tension continue positive (Pour une position = 6cm)	64
III.27	Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et épaisseurs sous tension continue négative (Pour une position = 6cm)	65

Liste des figures

N°	Figure	Page
I. 1	Schéma de l'avalanche de Townsend	03
I.2	Caractéristique de Townsend	04
I.3	Tube de la décharge de Townsend	05
I.4	Etapes successives de développement du streamer positif	09
I.5	Passage de l'avalanche électronique au streamer négatif	10
II.1	Mécanismes de rupture diélectrique des isolants solides	15
II.2	Rupture locale	16
II.3	Rupture global	17
II.4	Décharge directe et par étapes (décharge glissante)	22
III.1	Circuit doubleur de tension de Shenkel	27
III.2	Circuit d'essai à tension continue	28
III.3	Arrangement pointe- barrière- plan	30
III.4	Facteur de correction k d'humidité en fonction de l'humidité absolue	32
III.5	Valeurs des exposants m et n pour correction de densité de l'air et w pour correction de l'humidité	33
III.6	Influence de la position de la barrière sur la tension disruptive pour tension continue positive	37
III.7	Influence de la position de la barrière sur la tension disruptive pour une tension continue négative	38
III.8	Influence de la position de la barrière sur la tension disruptive pour une tension continue positive	39
III.9	Influence de la position de la barrière sur tension disruptive pour une tension continue négative	40
III.10	Influence de la position de la barrière sur la tension disruptive pour une tension continue positive	41
III.11	Influence de la position de la barrière sur tension disruptive pour une tension continue négative	42
III.12	Influence de la position de la barrière sur la tension disruptive Pour une déférente conductivité sous tension continue positive	44

III.13	Influence de la position de la barrière sur la tension disruptive Pour une déférente conductivité sous tension continue négative	45
III.14	Influence de la position de la barrière sur la tension disruptive Pour une déférente conductivité sous tension continue positive	46
III.15	Influence de la position de la barrière sur la tension disruptive Pour une déférente conductivité sous tension continue négative	47
III.16	Influence de la position de la barrière sur la tension disruptive Pour une déférente conductivité sous tension continue positive	48
III.17	Influence de la position de la barrière sur la tension disruptive Pour une déférente conductivité sous tension continue négative.	49
III.18	Influence de position sur les tensions disruptive pour différentes épaisseur sous tension continue positive (pour $\gamma_1 = \text{Cste}$)	51
III.19	Influence de position sur les tensions disruptive pour différentes épaisseur sous tension continue négative (pour $\gamma_1 = \text{Cste}$)	52
III.20	Influence de position sur les tensions disruptive pour différentes épaisseur sous tension continue positive (pour $\gamma_2 = \text{Cste}$)	53
III.21	Influence de position sur les tensions disruptive pour différentes épaisseur sous tension continue négative (pour $\gamma_2 = \text{Cste}$)	54
III.22	Influence de position sur les tensions disruptive pour différentes épaisseur sous tension continue positive (pour $\gamma_3 = \text{Cste}$)	55
III.23	Influence de position sur les tensions disruptive pour différentes épaisseur sous tension continue négative (pour $\gamma_3 = \text{Cste}$).	56
III.24	Influence des épaisseurs sur la tension disruptive pour différent conductivité sous tension continue positive (Pour une position = 0cm)	58
III.25	Influence des épaisseurs sur la tension disruptive pour différent conductivité sous tension continue négative (Pour une position = 0cm)	59
III.26	Influence des épaisseurs sur la tension disruptive pour différent conductivité sous tension continue positive (Pour une position 2= cm)	60
III.27	Influence des épaisseurs sur la tension disruptive pour différent conductivité sous tension continue négative (Pour une position = 2cm)	61
III.28	Influence des épaisseurs sur la tension disruptive pour différent conductivité sous tension continue positive (Pour une position = 4cm)	62

III.29	Influence des épaisseurs sur la tension disruptive pour différent conductivité sous tension continue négative (Pour une position = 4cm)	63
III.30	Influence des épaisseurs sur la tension disruptive pour différent conductivité sous tension continue positive (Pour une position = 6cm)	64
III.31	Influence des épaisseurs sur la tension disruptive pour différent conductivité sous tension continue négative (Pour une position = 6cm)	65

Liste des photos

N°	Photo	Page
III.1	Photo du pupitre de commande du laboratoire de haute tension de l'université de Biskra	25
III.2	Circuit d'essai en tension continue	29

Liste des Symboles et Acronymes

Symboles	Acronymes
P	La pression atmosphérique
E	Champ électrique
α	Le premier coefficient d'ionisation de Townsend
d	La distance inter électrodes
n_0	Nombre d'électrons/seconde émis de la cathode
n_x	Nombre d'électrons à l'abscisse x
dn_x	Nombre d'électrons créés à l'abscisse x
I_0	Le courant photoélectrique initial à la cathode
η	Le coefficient d'attachement
γ	Le deuxième coefficient d'ionisation de Townsend
S	Section du canal
a	Épaisseur du diélectrique
γ	Conductivité moyenne du canal
U	Tension appliquée
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
Q1	La quantité de chaleur dans le canal
P_{diel}	Pertes diélectriques
T	Température
P_{dis}	La puissance dissipée
C1	Condensateur
a_1	Distance pointe-barrière
d	Distance pointe plan
$d_{géom}$	La distance géométrique pointe-plan
U_{mes}	La tension mesuré

H	Humidité
γ	Conductivité superficielle
λ_{th}	Facteur de conduction thermique.
γ_o	Conductivité à la température 0°C, ($\gamma_{\theta_0} = \gamma_o \cdot e$).
U_d	Tension disruptive.
m,n,	Valeurs des exposants pour correction de la densité de l'air (CEI60)
w	Valeurs des exposants pour correction de l'humidité (CEI60)

Introduction Générale

Introduction générale

Le développement des systèmes de haute tension a donné une grande impulsion à la recherche sur la décharge dans les intervalles d'air. De nombreux travaux ont été orientés pour l'analyse des différents paramètres caractérisant la décharge tel que le courant, décharge électrique, le mode de propagation.

L'effet des barrières dans l'augmentation de la rigidité des systèmes pointe -plan, est connu depuis 50 ans. Il est exploité aussi dans la fabrication des câbles de haute tension dans le but d'augmenter leurs durées de vie, ainsi que leurs rigidités. L'influence de la barrière sur l'intervalle d'air pointe-plan dépend de plusieurs paramètres. Parmi ces paramètres on trouve la position, les dimensions et l'épaisseur de la barrière. L'influence de la barrière est surtout liée à l'accumulation des charges sur la surface de la barrière du côté de la pointe .Le calcul de la charge d'espace est d'une importance incontestablement remarquable pour la détermination des performances du système pointe-barrière-plan.

Notre travail est une contribution à l'étude de l'influence des barrières sur la rigidité diélectrique d'un intervalle d'air pointe-plan, par la mesure de certain paramètre de la décharge électrique, à savoir : la tension disruptive. Dans ce mémoire nous étudions l'influence d'une barrière polluée à différentes épaisseurs et différentes positions inter. électrodes sur la tension d'amorçage .ainsi nous étudions l'influence du système pointe-barrière-plan sous la tension continue.les essais de haut tension sont réalisés au laboratoire de haut tension de l'université de Biskra.

Il est connu que l'insertion d'une barrière solide isolante dans les intervalles d'air pointe-plan provoque l'amélioration de la tension disruptive [1]

Ce mémoire est une continuité du travail effectué par A. Bensaci et A.Laggoun dans le cadre d'un projet de fin d'étude. Ce mémoire est structuré en trois chapitres. Le premier chapitre traite les mécanismes de décharge électrique. Nous évoquons au deuxième chapitre les mécanismes de rupture diélectrique des isolants solides dans l'air et l'influence de la barrière isolante sur la rigidité diélectrique des intervalles d'air. Au troisième chapitre, nous présentons des techniques expérimentales utilisées et des résultats obtenus relatifs aux variations des facteurs influant sur la tension de décharge disruptive.

Nous terminons notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I

Mécanismes de décharge électrique

Chapitre II

**L'influence de la
barrière isolante sur
la rigidité
diélectrique de l'air**

II.1 Introduction

L'influence des barrières isolantes a été remarquée par C.P Steinmetz vers 1920 [12]. Il a constaté l'augmentation de la tension disruptive de l'air entre deux électrodes sphériques, séparées par une barrière isolante. Plusieurs chercheurs ont succédé par la suite pour mener des investigations plus poussées [13-15].

L'amélioration de la rigidité diélectrique d'un intervalle d'air pointe-plan, par l'introduction convenable d'une barrière isolante est un phénomène très intéressant à exploiter dans les systèmes d'isolation. En effet, la présence d'un écran isolant entre les deux électrodes transforme l'intervalle d'air initial en un système stratifié (air-barrière). Les ions dans le cas d'une décharge positive sont alors freinés par la barrière en se répartissant sur sa surface, provoquant la déformation du champ électrique et engendrant ainsi une nette augmentation de la tension disruptive du système [15].

L'introduction d'une barrière influence par plusieurs paramètres la variation de la tension disruptive d'un intervalle d'air. On trouve les paramètres de configuration de l'intervalle (longueur de l'intervalle, nombre de barrières utilisées, position de la barrière) et les paramètres concernant la barrière elle-même (son matériau, sa forme, ses dimensions...etc.)[1,16].

II.2 Mécanismes de rupture diélectrique des isolants solides [15]

Les deux principaux mécanismes de rupture diélectrique des isolants solides sont:

- 1- le mécanisme de rupture intrinsèque (rupture électrique).
- 2- le mécanisme thermique.

Les mécanismes électriques et thermiques peuvent être distingués l'un de l'autre, d'après la variation de la tension de décharge disruptive (rupture diélectrique) en fonction du temps d'application de la tension ou en fonction de la température (Fig. II.1).

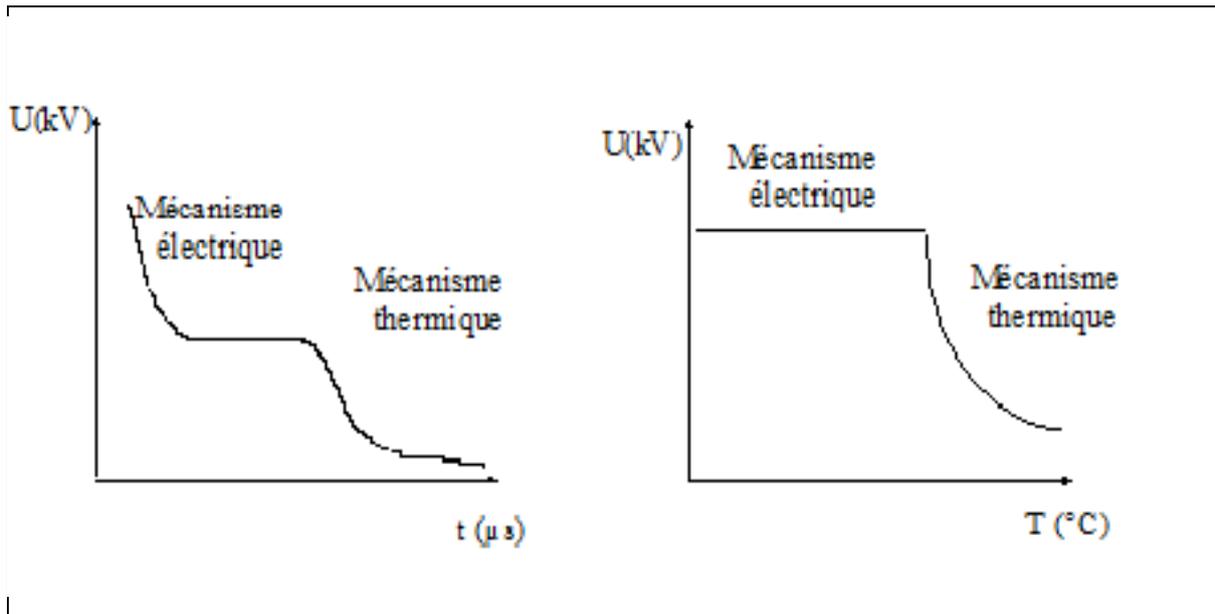


Fig. II.1 Mécanismes de rupture diélectrique des isolants solides.

II.2.1 Mécanisme Electrique

La rupture intrinsèque est de nature électronique et a lieu à des temps de l'ordre de 10^{-8} s. La rigidité diélectrique est de l'ordre de 1000 kV/cm.

La rupture est atteinte quand les électrons acquièrent suffisamment d'énergie dans le champ appliqué, afin de traverser la bande interdite de l'isolant (passage de la bande de valence à la bande de conduction). Selon le degré d'homogénéité et de pureté du matériau, on aura un certain transfert d'énergie entre les électrons de conduction et le réseau cristallin. On aura aussi une certaine distribution des électrons dans la bande de conduction.

II.2.2 Mécanisme Thermique

II.2.2.1 Rupture locale

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 (Fig. II.2).

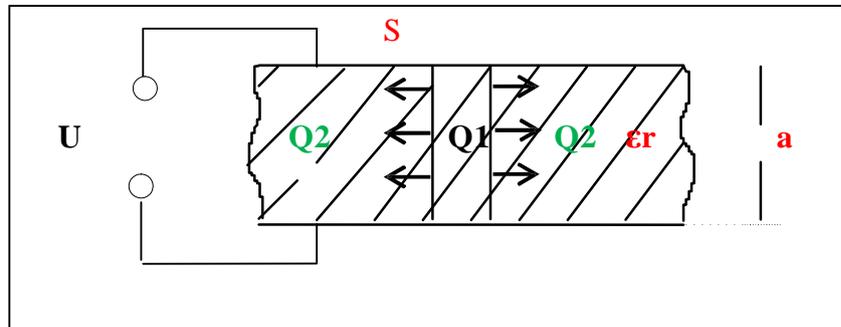


Fig. II.2 Rupture locale.

La quantité de chaleur dans le canal s'exprime par:

$$Q_1 = 0,24.I^2.R = 0,24.U^2.\gamma.(S/a) \quad (II.1)$$

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:

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

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

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

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

$$Q=Q_2 \text{ et } \partial Q_1/\partial\theta = \partial Q_2/\partial\theta \quad (II.4)$$

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 :

$$U_d = a.[\lambda_{th}/(0,24.\gamma_0.e.S.\alpha)]^{1/2}.e^{-(\alpha/2).\theta_0} \quad (II.5)$$

II.2.2.2 Rupture global

Dans ce cas on suppose que la chaleur (et la température) est répartie de manière uniforme à l'intérieur du diélectrique (Fig. II.3).

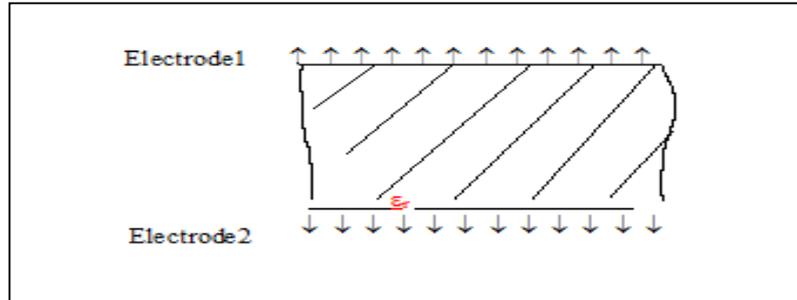


Fig. II.3 Rupture global.

Avec :

P_{diel} :Cstes.

T :Cste.

En régime stable nous avons les conditions suivantes:

$$P_{diel} = P_{ref} \text{ et } \partial P_{diel} / \partial \theta = \partial P_{ref} / \partial \theta \tag{II.6}$$

La puissance dissipée à l'extérieur par conduction thermique est donnée par la formule suivante:

$$P_{dis} = - \text{div} (\lambda_{th} \cdot \text{grad} \theta) \tag{II.7}$$

En égalant la puissance dissipée aux pertes diélectriques, la tension critique de rupture diélectrique thermique sera donnée par l'expression suivante:

$$U_c = 1,875 \cdot [\lambda_{th} \cdot (P_c \cdot \alpha \cdot e^{\alpha(\theta - \theta_0)})]^{1/2} \tag{II.8}$$

Avec:

$$P_c = \omega \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \text{tg} \delta_0$$

II.3 Influence d'une barrière isolante dans les intervalles d'air

L'air en tant que diélectrique, est largement rencontré comme unique isolation entre électrodes dans la technique de haute tension. Ces électrodes peuvent être soit les parties métalliques de différents appareillages sous tension, soit des conducteurs de lignes aériennes ou des bornes à haute tension dans les laboratoires d'essais.

En pratique, la majorité des configurations des électrodes peut être caractérisée par les géométries à champ électrique non uniforme: pointe-pointe ou pointe-plan ou par celle qui possède la rigidité électrique intermédiaire. 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 polarité de la pointe est positive.

La présence d'un écran isolant entre les deux électrodes transforme l'intervalle d'air initial en un système stratifié composé de deux diélectriques (air - barrière) et l'avantage fourni par l'utilisation des barrières est l'augmentation de la rigidité diélectrique du système [15].

III.3.1 Influence du type de tension appliquée

La rigidité diélectrique dépend de l'amplitude et de la forme de la tension appliquée aux électrodes. Dans le cas des petits intervalles d'air (inférieurs à 1m), beaucoup de travaux de recherches ont été effectués aussi bien sous tension continue, que sous tension alternative ou de choc de foudre [17]. En ce qui concerne les longs intervalles d'air, les travaux ont été surtout effectués sous la contrainte de tension la plus défavorable, représentée par les chocs positifs de manœuvres à durée de front relativement longue [12,17].

III.3.2 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'est obtenue. Les décharges apparaissent dans ce cas des deux côtés de la barrière isolante.

III.3.3 Influence de la position de la barrière

La tension disruptive des petits intervalles d'air allant jusqu'à 40 cm varie essentiellement en fonction de la position de la barrière [17]. Cette tension passe par un maximum quand la barrière est près de la pointe.

Certain travaux [12,15, 17] ont montré que pour des intervalles d'air de 15 à 30cm, le maximum de tension est obtenu en position où la barrière est colée avec la pointe ($a/d=0\%$; a : distance entre la pointe et la barrière, d : longueur de l'intervalle inter électrodes).

Ce résultat est valable dans le cas où la largeur des barrières n'excède pas 50 cm. Pour les moyens intervalles d'air de 40 cm à 200 cm, l'introduction d'une barrière isolante à surfaces propres 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 [12,17].

III.3.4 Influence de la largeur de la barrière

Quand la largeur de la barrière n'est pas suffisamment grande par rapport à 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-bord de la barrière -plan.

L'augmentation maximale de la tension disruptive, dans ce cas, est obtenue quand la barrière est pratiquement en contact avec l'électrode pointue [15].

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

III.3.5 Influence de l'épaisseur et de la permittivité

Ces deux paramètres ont une influence sur la distribution des porteurs positifs et sur la chute de tension sur la surface de la barrière. Quand ces deux paramètres auront des valeurs importantes, le champ entre la barrière et le plan devient de plus en plus uniforme, mais l'influence de ces paramètres est beaucoup moins important par comparaison à l'effet de la largeur et de la position de la barrière [17].

III.3.6 Influence du matériau de la barrière

M. V. Sokolova [17] a effectué des mesures des courants de décharges pour des intervalles d'air avec différents matériaux de la barrière. L'analyse des oscillogrammes a montré que chaque impulsion de courant a une structure complexe avec un caractère irrégulier. Ceci reflète le processus de décharge, la décharge se fait sous forme de micro impulsions consécutives. Les deux matériaux utilisés ont la même épaisseur et la même permittivité, mais ils produisent des effets différents sur la rigidité diélectrique de l'intervalle.

D'autres auteurs [11] ont étudié l'influence de la nature de la barrière (verre et plexiglas) lorsque la barrière est fixée sur l'électrode mise à la terre d'un système plan-plan. La tension de claquage avec barrière en plexiglas est supérieure à celle avec barrière en verre [18], cette différence serait due au fait que le claquage se produisait par décharge superficielle, celle-ci se développe plus facilement sur l'isolant de plus grande permittivité ($\epsilon_{\text{verre}} > \epsilon_{\text{plexiglas}}$).

II.3.7 Influence de la pollution

Les couches semi-conductrices sur la barrière correspondent aux cas pratiques de l'emploi de la barrière dans l'air pollué. La pollution s'accumule sur la surface de la barrière et dès que la conductivité superficielle des couches semi-conductrices dépasse $1,6 \mu S$, on aura pratiquement les mêmes résultats que la barrière métallique [12].

Avec une barrière à surface semi-conductrice, il a été constaté [12] que la tension disruptive des intervalles d'air pointe-plan varie entre les valeurs obtenues avec la barrière isolante à surfaces propres et celles obtenues avec une barrière métallique de même forme. Les cas extrêmes ont été observés dans le cas de barrières isolantes recouvertes de couches conductrices de diamètre variable [19].

II.4 Formes des décharges observées dans le système pointe-plan avec barrière isolante

L'évolution et la forme des décharges [12, 20] 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.

II.4.1 Décharge directe

La décharge directe est une décharge qui suit le chemin le plus court entre la pointe et le plan en passant par le bord de la barrière [21].

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

II.4.1.a Cas où la décharge perfore 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) [12,17].

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

II.4.1.b Cas où la décharge contourne la barrière

Pour un système pointe positive-plan avec barrière, la décharge parte de la pointe suivant le trajet « pointe-bord de la barrière - plan » quand l'écran n'est pas suffisamment large. La décharge se voit déviée vers le bord de l'écran à cause de l'existence de force électrique répulsive (Fig.II.4-a).

L'existence d'une décharge directe pour des barrières relativement larges est liée surtout à la polarité de la pointe (positive) aussi qu'à la présence de forces électrostatiques à la surface de séparation des deux diélectriques (air-barrière).

II.4.2 Décharge par étape

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 [12]. En premier lieu, on distingue l'effet couronne suivi de la décharge pointe-barrière qui constitue la première étape de l'amorçage. Ensuite, pour un niveau de tension supérieur, on arrive à la seconde étape qui est le contournement de la barrière par les décharges glissantes (Fig. II.4-b), et finalement, la troisième et dernière étape est atteinte quand la décharge s'effectue du bord de la barrière vers le plan (Fig.II.4-c).

Pour une pointe négative, il existe quatre étapes [12], la 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 l'électrode plane apparaît une décharge se dirigeant vers l'autre surface de la barrière et finalement le claquage s'effectue après la rencontre des deux décharges venant de part et d'autre de la barrière (Fig.II.4-d).

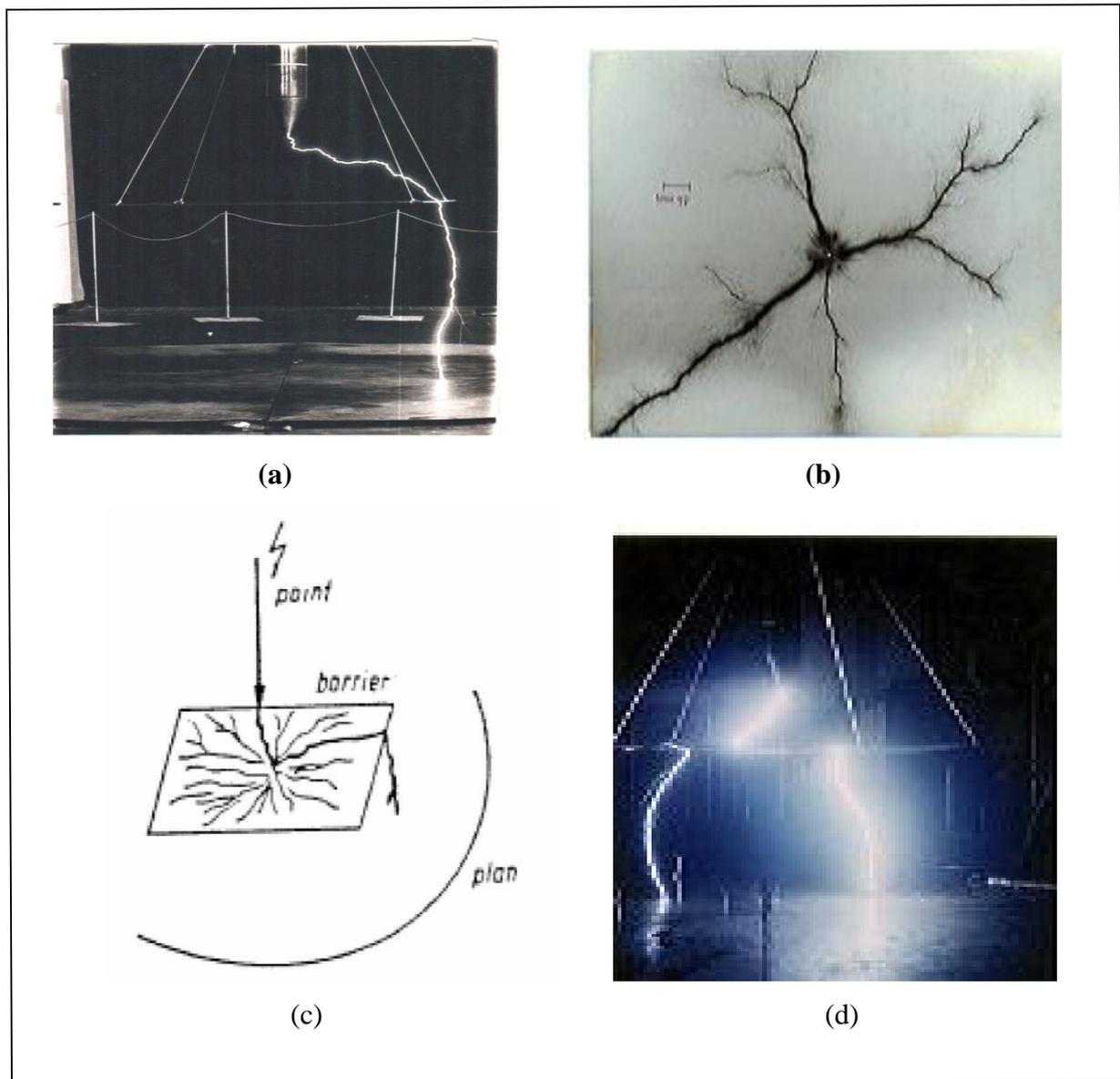


Fig. II.4 Décharge directe et par étapes (décharge glissante).

- (a): Décharge directe du système pointe-barrière-plan [15].
- (b): Décharge glissante sous tension de choc de foudre, photographie de contact.
- (c): Décharge par étapes.
- (d): Décharge par étapes dans le cas de la pointe sous tension de choc négatif.

II.5 Conclusion

L'introduction d'une barrière isolante à surface propre entraîne une variation de la tension disruptive des intervalles d'air pointe-plan. Cette variation est influencée par des paramètres concernant la barrière (son matériaux, le dépôt de pollution sur sa surface, sa forme, le nombre de barrières utilisées, ses dimensions,...). Elle est influencée aussi par la configuration de l'intervalle (la longueur de l'intervalle, la position de la barrière) ainsi que la pollution de l'air est l'humidité).

Chapitre III

Résultats obtenues et interprétations

III.1 Introduction

Nous présentons dans ce chapitre les techniques expérimentales réalisées au laboratoire de Haute Tension de l'université de Biskra et les résultats obtenus dans ce travail.

Nous nous sommes intéressés durant nos essais à l'étude de :

-l'influence de la position de la barrière polluée sur la tension disruptive du système point-barrière-plan.

-l'influence de l'épaisseur de la barrière polluée sur la tension disruptive du système point-barrière-plan.

-l'influence de la conductivité superficielle de la pollution déposée sur la surface de la barrière sur la tension disruptive du système point-barrière-plan.

III.2 Dispositif expérimental**III.2.1 Circuit d'essai du laboratoire de haute tension (Université de Biskra)**

Les essais sont effectués dans le laboratoire de haute tension de l'université de Biskra. Notre laboratoire est constitué de deux sources de tensions:

- Une source de tension à fréquence industrielle 50Hz.
- un générateur de tension continue.
- un générateur de tension impulsionnelle.

III .2.1.1 Équipement de la station d'essai

La station d'essai de notre laboratoire comprend les organes suivants :

- Un transformateur d'essai.
- un transformateur de réglage.
- des diviseurs de tension.
- un pupitre de commande et des appareils de mesure et de protection.
- un oscilloscope numérique.

III.2.1.2 Transformateur d'essai

Nous avons utilisé un transformateur d'essai conçu et isolé pour la génération de haute tension. Il a un rapport de transformation de 250V / 100kV, avec une puissance de 5 kVA.

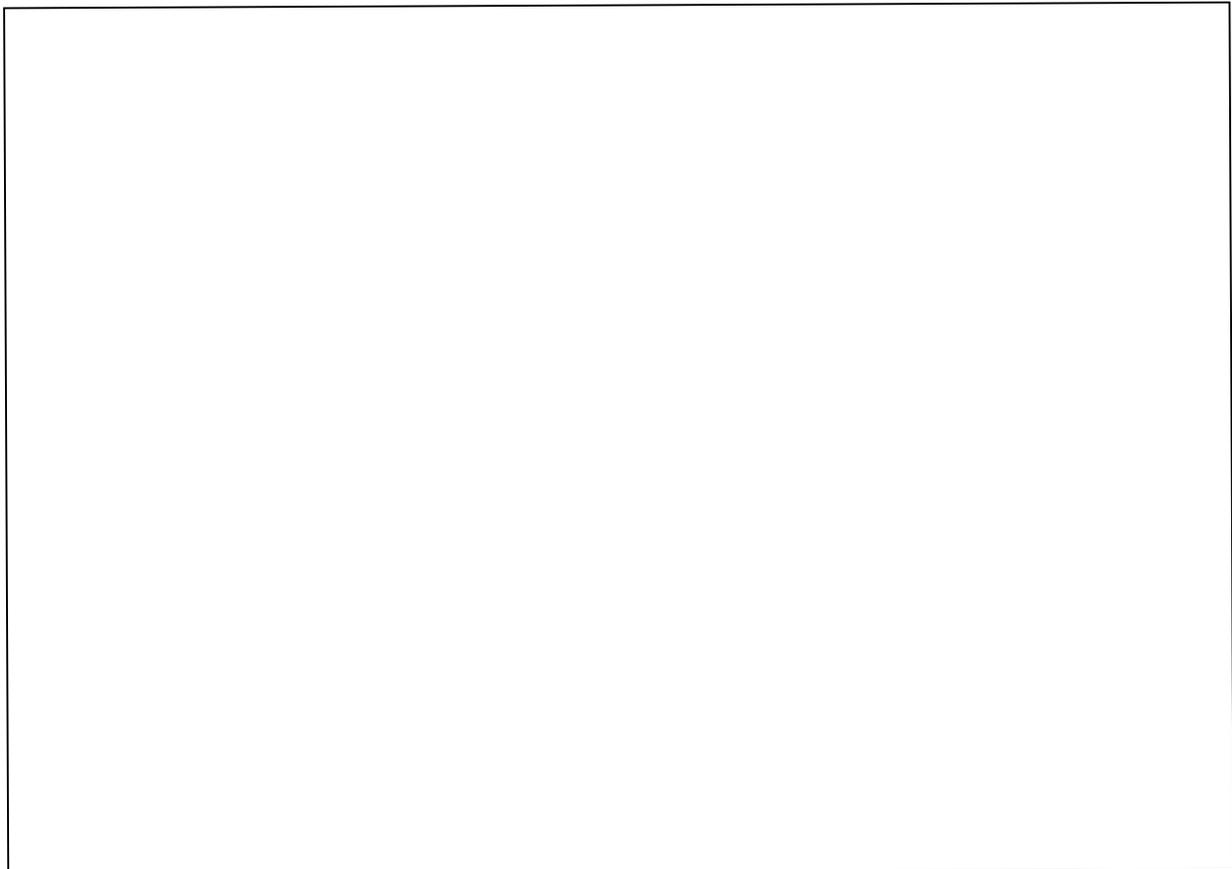
Ce transformateur permet la variation de la haute tension au secondaire de 0 à pleine tension.

III.2.1.3 Transformateur de réglage

Nous permettons la variation de la tension aux bornes du transformateur d'essai. Son rapport de transformation est de 220V/250V.

III.2.1.4 Pupitre de command

Ce pupitre est alimenté sous une tension de 220V. Ce pupitre nous permettons la variation automatique de la tension d'essai (Photo. III.1).



Pho.III.1 Photo du pupitre de commande du laboratoire de haute tension de l'université d Biskra.

III.2.1.5 Appareils de mesure et de protection

L'alimentation du laboratoire se fait à partir d'un pupitre de commande situé dans le laboratoire, mais à l'extérieur de la plate-forme d'essai (la cage de Faraday). Le transformateur de haute tension et son régulateur sont protégés indépendamment par un fusible et un relais thermique. Ces protections sont liées avec le circuit de la bobine du contacteur principal, ce qui donne une protection suffisante contre les surcharges du transformateur et les courants de court-circuit.

Pour les mesures de tension on a :

DSM : un voltmètre numérique pour mesurer la tension alternatif.

DGM : un voltmètre numérique pour mesurer la tension continue.

- Un voltmètre et ampèremètre pour mesurer de la tension primaire au niveau du transformateur d'essai

III.2.1.6 Diviseur de tension

Il existe deux diviseurs de tension :

- Un diviseur de tension capacitif pour la mesure de la tension à fréquence industrielle.
- Un diviseur de tension résistif pour la mesure de la tension continue.

III.2.1.7 Circuit d'essai à tension continue

Si l'on veut avoir une tension continue doublée de sortie U_c par rapport à la valeur de crête de la tension alternative d'entrée \hat{U}_s , pour éviter d'avoir à recourir à un transformateur à tension de sortie U_s trop élevée, on peut utiliser le "Doubleur de tension de Shenkel". La figure (III.1) représente le schéma de doubleur de Shenkel.

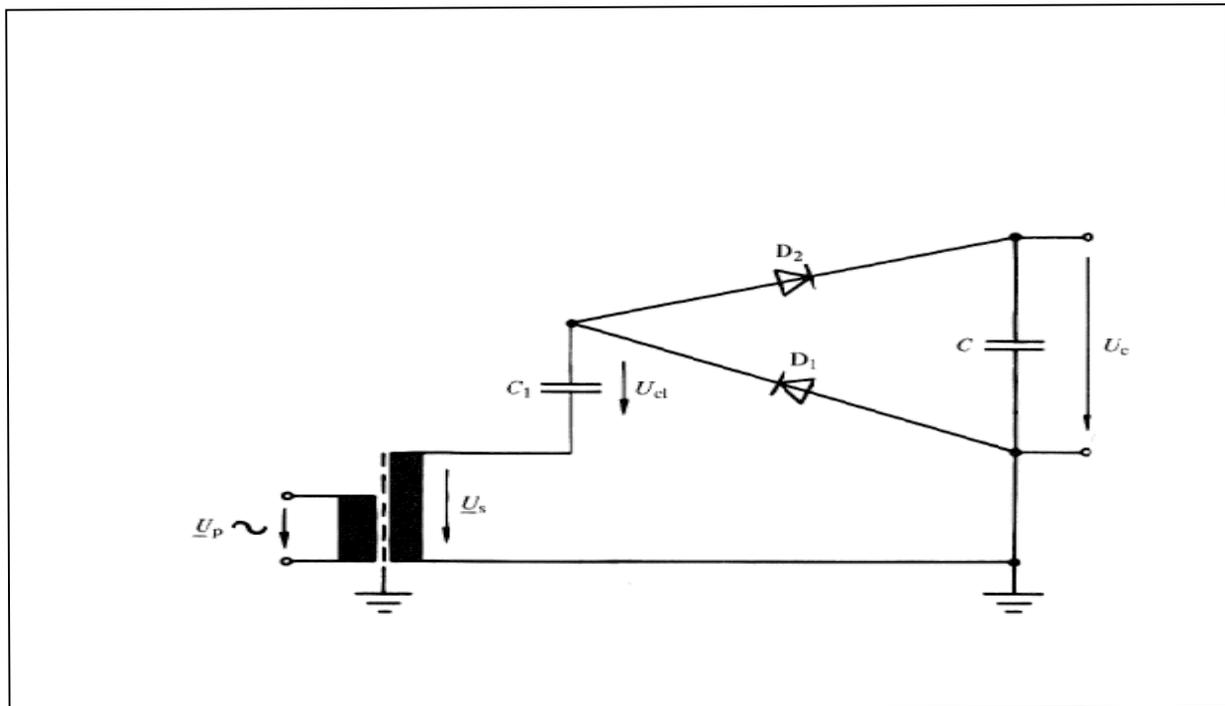


Fig.III.1 Circuit doubleur de tension de Shenkel [18].

III.2.1.7.a Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement du doubleur de tension de Shenkel est basé sur la charge au cours d'une alternance négative de la tension U_s , du condensateur C_1 , à la valeur de crête \hat{U}_s . Puis, au cours de l'alternance positive suivante de la tension U_s , cette dernière tension s'ajoute à \hat{U}_s , aux bornes de C_1 pour atteindre le double de \hat{U}_s sur C , c'est-à-dire U_c , au passage de U_s par la crête positive.

III.2.1Avantage

Le redresseur doubleur de tension de Shenkel offre, comme premier avantage, la possibilité de recourir à une transformatrice haute tension avec un point à la terre et isolé entre le primaire et le secondaire pour la mi-tension de sortie U_c .

Par contre, le condensateur de sortie C doit être dimensionné pour supporter la pleine tension de sortie U_c . Le deuxième avantage du redresseur de Shenkel est qu'il constitue l'élément de base du redresseur en cascade.

Le circuit réalisé au laboratoire pour étudier l'influence de la barrière sur l'intervalle d'air pointe-plan en tension continue est représenté sur la figure(III.2).

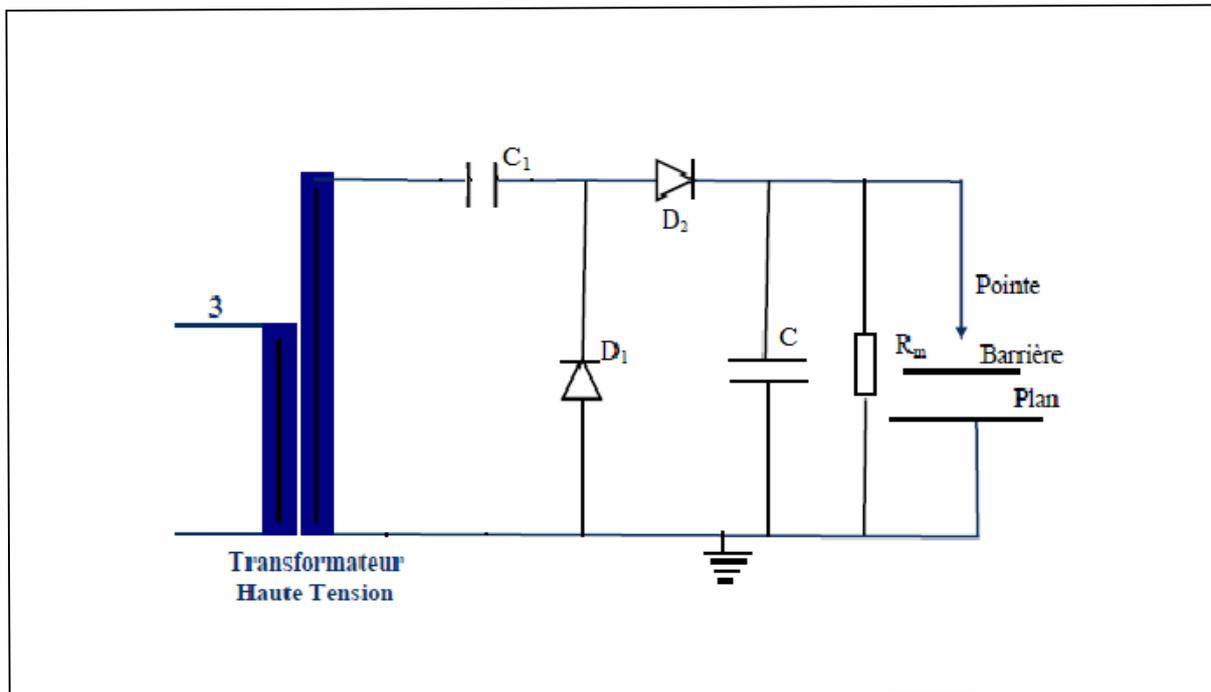


Fig.III.2 Circuit d'essai à tension continue.

Avec :

Diode D_1 : 140 kV, 20 mA, 100 k Ω .

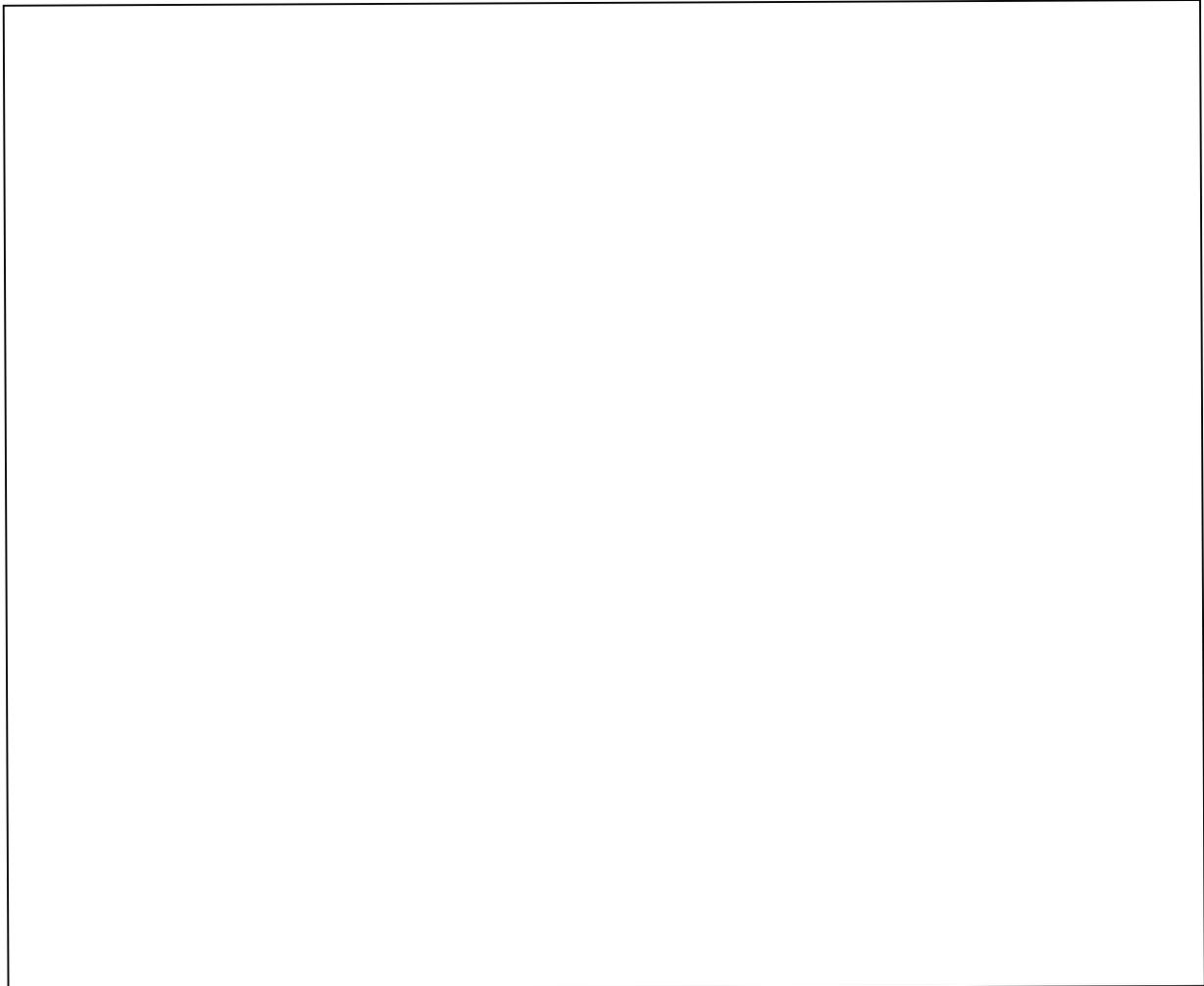
Diode D_2 : 140 kV, 20 mA, 100 k Ω .

Condensateur C_1 : 10000 pF, 140 kV.

Condensateur C : 5000 pF, 280 kV.

Résistance de mesure R_m : 280 kV, 560 M Ω .

La photo (III.2) est la photo concordante du montage réalisé au laboratoire de haute tension.



Pho.III.2 Circuit d'essai en tension continue.

III.3 Arrangement "pointe-barrière-plan "

Pour l'arrangement pointe-barrière-plan nous avons utilisé une pointe en cuivre de 30 cm de longueur, 2,8 cm de diamètre et à bout conique à 30°.

Des barrières en verre de 25 cm de largeur, [18] et épaisseurs 5 mm. Un plan en aluminium mis à la terre.

Pour faire changer la barrière pour plusieurs positions on a utilisé des supports en bakélite.

La figure(III.3) représente l'arrangement pointe-barrière-plan.

a_1 : distance pointe-barrière.

d : distance pointe plan qui est fixée à 6 cm.

$d_{\text{géom.}}$: La distance géométrique pointe-plan tels que : $d_{\text{géom.}} = x + y$.

On prend comme notation des différentes positions de la barrière de la pointe (a_1/d) en (%) qui prend les valeurs suivantes : 0%(0cm), 40%(2cm), 80%(4cm), 100% (6cm).

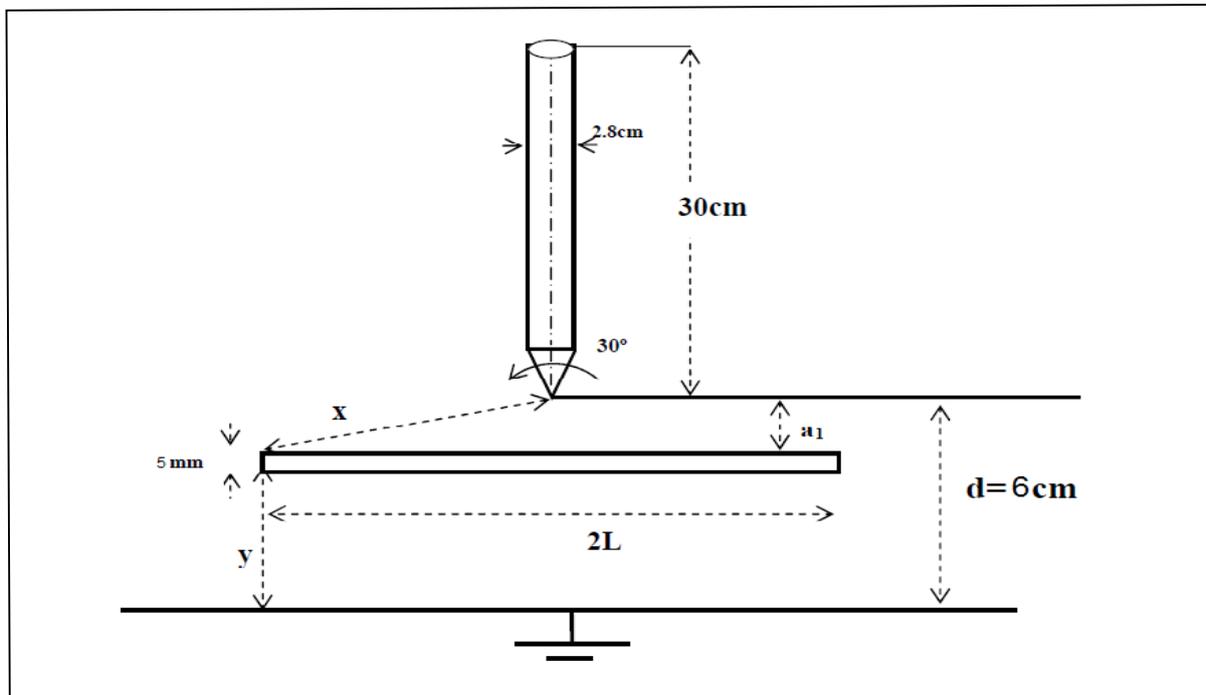


Fig.III.3 Arrangement pointe-plan

III.4 Conditions atmosphériques

La décharge disruptive d'une isolation externe dépend des conditions atmosphériques régnantes habituellement, la tension de contournement d'un parcours donné dans l'air est accrue par l'accroissement de la densité de l'air ou de l'humidité. Cependant, lorsque l'humidité relative excède 80% environ, la tension de disruptive devient irrégulière, spécialement lorsque le claquage se produit le long d'une surface isolante.

III.4.1 Facteur de correction atmosphérique

En appliquant les facteurs de correction, la tension disruptive mesurée peut être convertie à la valeur qui aurait été obtenue sous les conditions atmosphériques de référence.

Réciproquement une tension d'essai spécifiée pour les conditions de référence peut être convertie en la valeur équivalente dans les conditions régnant au cours de l'essai.

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

III.4.2 Facteur de correction de densité de l'air et de l'humidité

Les conditions atmosphériques normales sont:

- Pression normale : 760 mmHg à 0° C ou 1013 mbar.
- Température : 20°C.
- Humidité : 11 g/m³.

III.5 Correction de la tension disruptive (claquage)

Conventionnellement, selon la CEI (Commission d'Electrotechnique Internationale), pour permettre de comparer les performances du matériel à haute tension on rapporte les mesures effectuées U_{mes} en laboratoire aux conditions normales U_n .

Pour ce faire on utilise la relation suivante :

$$U_n = \frac{k_h}{k_d} U_{mes} \quad (III.1)$$

Le coefficient k_d est calculé par l'expression suivante pour P en mbar et t en °C:

$$k_d = \left(\frac{P}{1013} \right)^m \left(\frac{293}{273 + t} \right)^n \quad (III.2)$$

$$P(\text{mbar}) = \frac{1013}{760} P(\text{mmHg}) (1 - 1,84 \cdot 10^{-4} t(^{\circ}\text{C})) \quad (III.3)$$

Le coefficient k_h est calculé par l'expression suivante :

$$k_h = (K)^\omega \quad (\text{III.4})$$

La constante k est tirée de la figure(III.4) , en fonction de l'humidité absolue, les exposants m , n et w . dépendent de la nature et de la polarité de la tension ainsi que de la distance d'amorçage d , comme indiqué dans le tableau(III.1) et la figure(III.5) .

En l'absence d'autre information, m et n sont considérés de valeur identique.

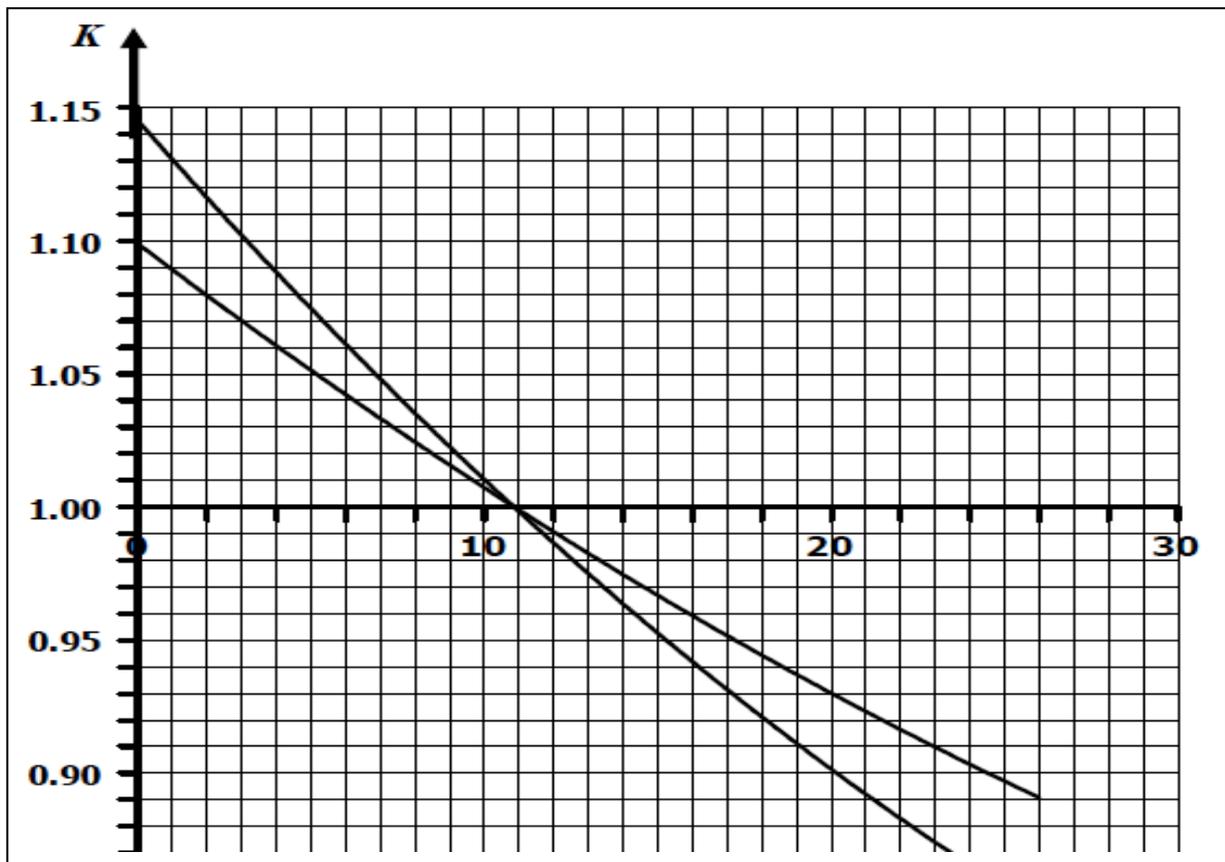


Fig.III.4 Facteur de correction k d'humidité en fonction de l'humidité absolue
(D'après la CEI 60)[22].

Pour toute disposition d'électrode n'entrant pas dans une des classes ci-dessus, seulement le facteur de correction de densité de l'air, utilisant les exposants $m=n=1$, et pas de correction d'humidité, devrait être appliqué.

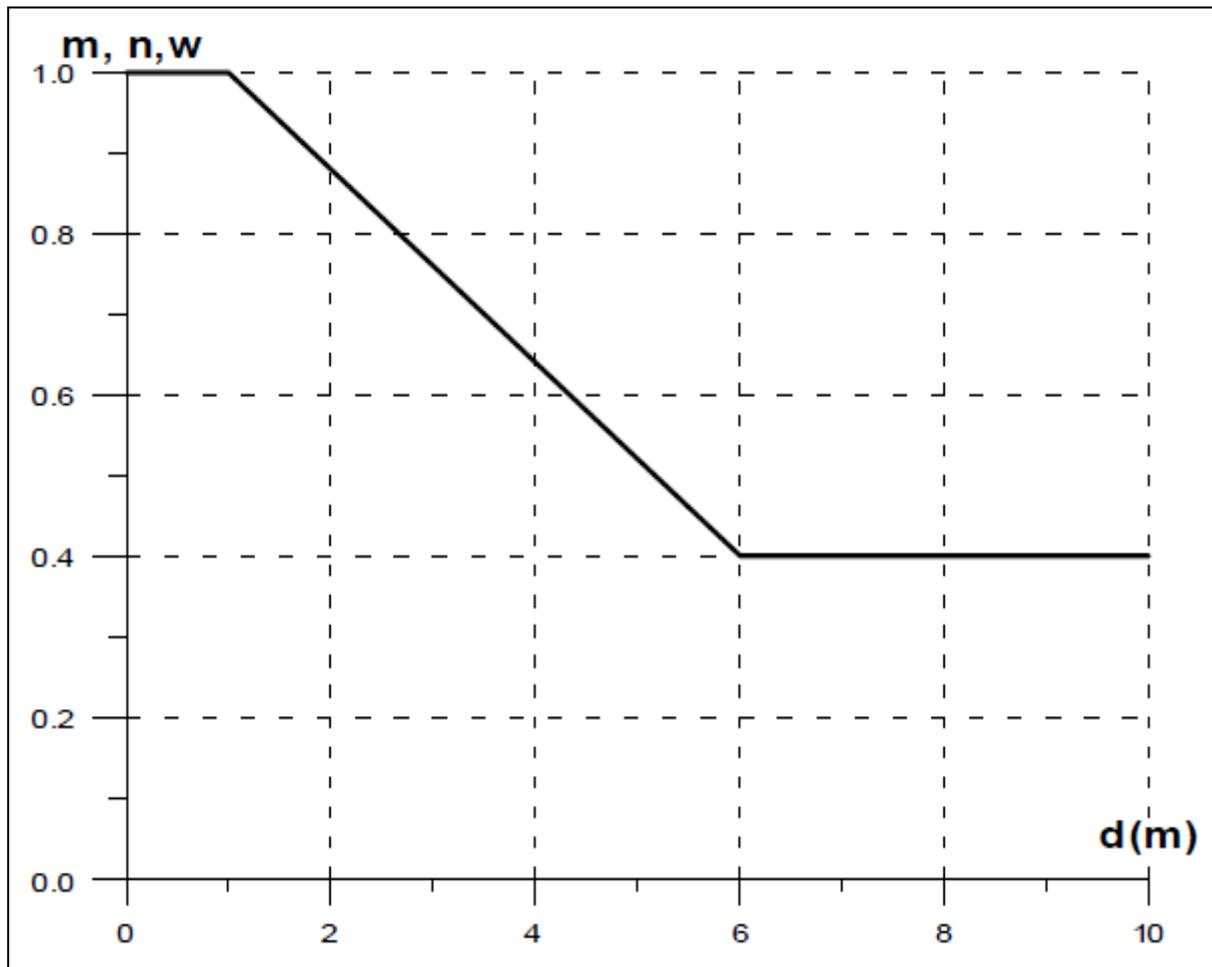
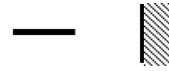


Fig.III.5 Valeurs des exposants m et n pour correction de densité de l'air et w pour correction de l'humidité (D'après la CEI 60) [22].

Tab.III.1 Application des facteurs de corrections (D'après la CEI 60) [22]

Type de tension d'essai	Formes d'électrodes	Polarités	Correction de la densité de l'air	Correction de l'humidité	
			Exposants (m et n) voir note ci-après	Facteur K	Exposant w
Tension continue		+	1,0	Voir Figure (III.4)	0
		-			0
		+			1,0
		-			1,0
		+			1,0
-		0			
Tension alternative			1,0	Voir Figure (III.4)	0
			Voir figure (III.5)		Voir figure (III.5)
			Voir figure (III.5)		Voir figure (III.5)
Tension de choc de foudre		+	1,0	Voir Figure (III.4)	0
		-			0
		+			1,0
		-			0,8
		+			1,0
-		0			
Tension de choc de manœuvre		+	1,0	Voir Figure (III.4)	0
		-	1,0		0
		+	Voir figure (III.5)		Voir figure (III.5)
		-	0*		0*
+		Voir Figure (III.5)	Voir figure (III.5)		

0* : Très peu d'informations sont disponibles pour le moment, aucune correction n'est recommandée.

III.6 Résultats et interprétations

III.6.1 Essais sans barrière

Les essais disruptifs effectués sont des essais préliminaires. Nous avons exploité ces résultats pour les comparer à ceux avec barrière pour voir l'influence des différents paramètres, sur la tension disruptive du système avec barrière.

III.6.2 Effet de la distance inter-électrodes

Les essais sont réalisées pour différentes distances inter électrodes (0, 2, 4, 6cm).

Nous constatons que l'augmentation de la distance inter-électrodes entraîne un accroissement de la tension disruptive.

Les résultats obtenus sont en bonne concordance avec ceux trouvés par d'autres auteurs, sous tension continue [23].

III.6.3 Effet de l'insertion de la barrière

Pour étudier l'effet de l'insertion de la barrière, nous avons procédé à une comparaison entre les tensions disruptives des deux systèmes (avec et sans barrière).

Pour le système avec barrière, nous avons utilisé des barrières de verre ayant trois épaisseurs 3, 5, 8mm, et 25cm comme largeur. Cette barrière est maintenue perpendiculaire à l'axe portant l'électrode pointe.

D'après les résultats obtenus (Fig.III.6-11), nous constatons que l'insertion de la barrière isolante augmente d'une façon considérable la tension disruptive. Cette augmentation est de l'ordre de 20% pour la position (100%). Ceci est dû, d'une part, au fait que la barrière présente un obstacle géométrique, et d'autre part, la présence de la barrière crée une zone entre la barrière et le plan où le champ est uniforme. Donc le système pointe-plan en présence de la barrière, se compose de deux sous systèmes, l'un pointe - barrière et l'autre barrière – plan. Ce dernier est considéré comme un système plan-plan, qui est le système le plus rigide. Nos résultats coïncident avec ceux obtenus par d'autres chercheurs, Nous constatons qu'avec l'augmentation de la conductivité superficielle, la tension disruptive diminue, pour toutes les différentes barrières polluées. (Tab.III.2-7).

III.6.4 Effet de la position de la barrière

Les positions de la barrière sont définies en fonction de la distance entre la pointe et la barrière (a_1). Cette distance prend différentes valeurs (de 0 jusqu'à d) d est fixé à 6cm. Pour faire changer la position de la barrière on a utilisé des supports en bakélite. On a réalisé (04) positions de la barrière vis-à-vis la pointe.

Les positions a_1/d choisies sont: a_1/d (%) = 0%, 40%, 80%, 100%.

Les barrières utilisées sont en verre d'épaisseur négligeable devant d . Pour chaque position on a effectué cinq essais puis on a calculé la valeur moyenne pour avoir la tension mesurée. Les figures (III.6-11) représentent les variations de la tension disruptive moyenne en fonction de la position de la barrière (a_1/d), pour différentes largeurs.

• Polarité positive

Tab.III.2 Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et positions sous tension continue positive (épaisseur de 3mm).

Conductivité (ms/cm) Les positions de la barrière (cm)		Tension disruptive (kV)				
		Sans Barrière	Avec barrière propre	Barrière polluée		
				$\gamma_1 = 1,823$ (ms/cm)	$\gamma_2 = 8,02$ (ms/cm)	$\gamma_3 = 16,32$ (ms/cm)
0	40	50,6	42	40,95	38,9	
2	40	58	50	49	45,5	
4	40	78	76,8	75,1	58	
6	40	92	72	70,3	54,6	

Avec :

H=50% et **T=27°**.

Epaisseur de la barrière = 3 mm

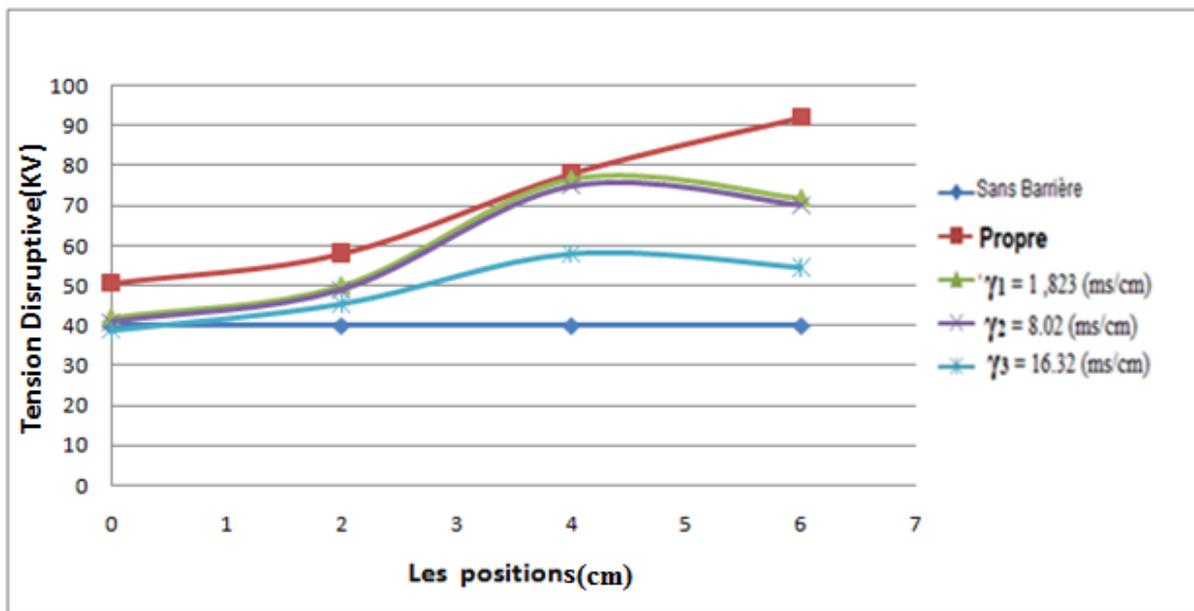


Fig.III.6 Influence de la position de la barrière sur la tension disruptive pour tension continue positive.

• Polarité négative

Tab .III.3 Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et positions sous tension continue négative (épaisseur de 3mm).

Conductivité (ms/cm) Les positions de la barrière (cm)		Tension disruptive (kV)				
		Sans Barrière	Avec barrière propre	Barriere polluée		
				$\gamma_1 = 1,823$ (ms/cm)	$\gamma_2 = 8,02$ (ms/cm)	$\gamma_3 = 16,32$ (ms/cm)
0	50,9	60	59	55	53	
2	50,9	70,9	64	60,2	58	
4	50,9	80	79,3	77	60	
6	50,9	95,5	75	73	56	

Avec :

H=50% et **T**=27°.

Epaisseur de la barrière = 3 mm

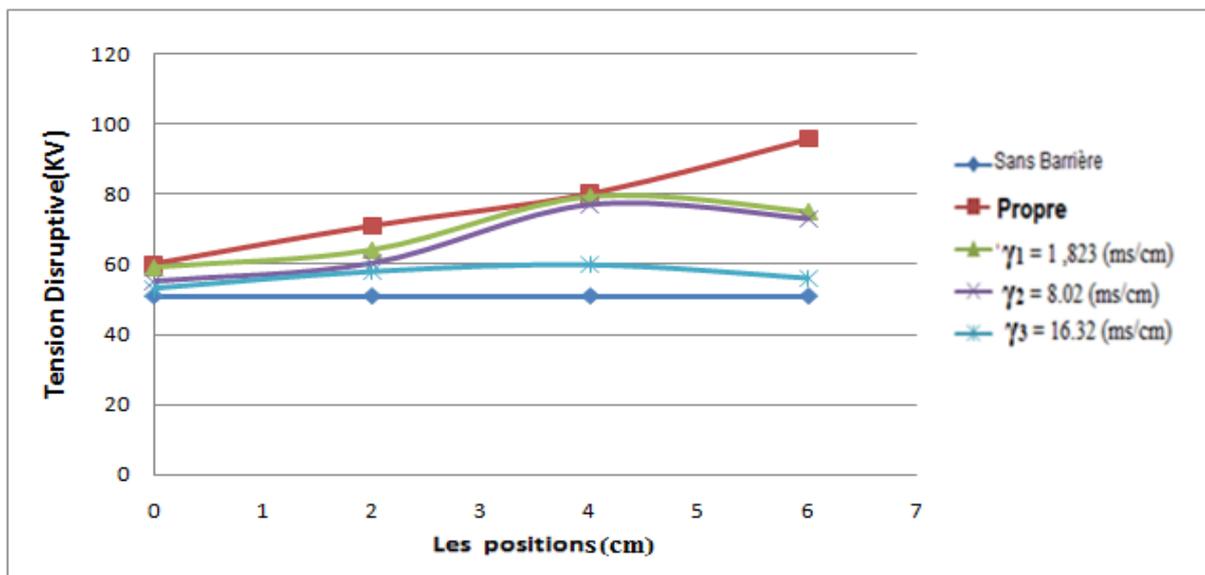


Fig.III.7 Influence de la position de la barrière sur la tension disruptive pour une tension continue négative.

• Polarité positive

Tab.III.4 Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et position sous tension continue positive (épaisseur de 5 mm).

Conductivité (ms/cm) Les positions de la barrière (cm)		Tension disruptive (kV)				
		Sans Barrière	Avec barrière propre	Barrière polluée		
				$\gamma_1 = 1,823$ (ms/cm)	$\gamma_2 = 8,02$ (ms/cm)	$\gamma_3 = 16,32$ (ms/cm)
0	40	53,6	45	42,9	40,44	
2	40	60,5	54,8	51,9	47,2	
4	40	80,9	79	76	64	
6	40	95	74	72,1	57,2	

Avec :

H=51% et **T**=19°.

Epaisseur de la barrière = 5 mm

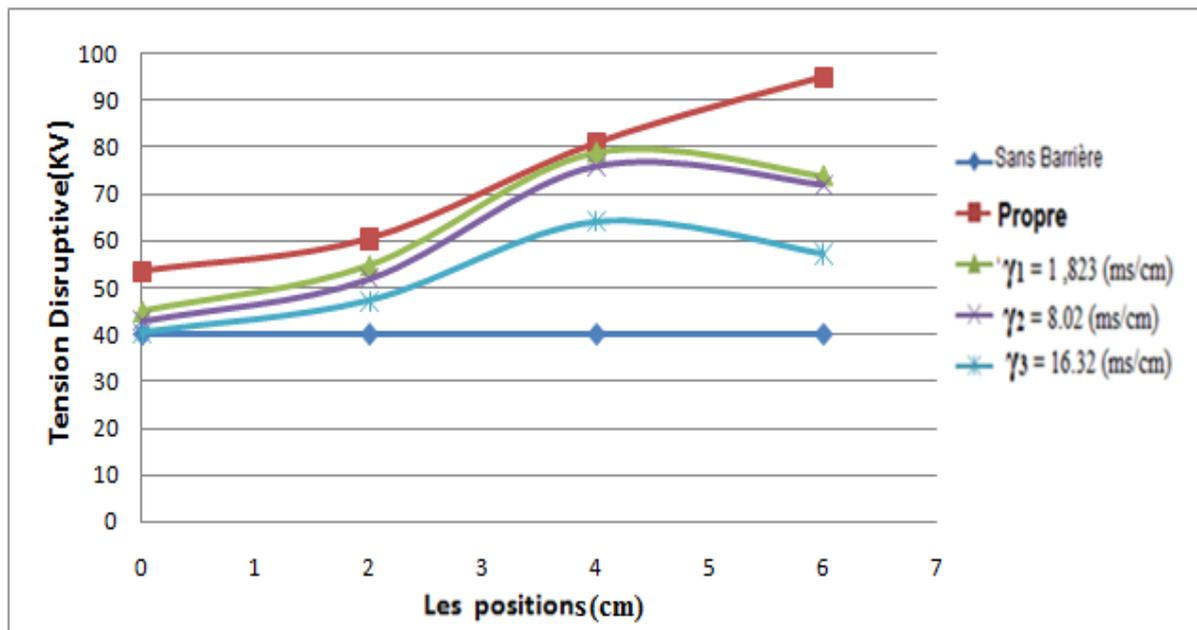


Fig.III.8 Influence de la position de la barrière sur la tension disruptive pour une tension continue positive.

• Polarité négative

Tab.III.5 Tension disruptive de en fonction des différentes conductivités et positions sous tension continue négative (épaisseur de 5 mm).

Conductivité (ms/cm) Les positions de la barrière (cm)		Tension disruptive (kV)				
		Sans Barrière	Avec barrière propre	Barriere polluée		
				$\gamma_1 = 1,823$ (ms/cm)	$\gamma_2 = 8,02$ (ms/cm)	$\gamma_3 = 16,32$ (ms/cm)
0	50,9	63,66	63	58	55	
2	50,9	74,9	67,1	62,5	61	
4	50,9	83	82,44	79	63	
6	50,9	97,5	77,2	76	59	

Epaisseur de la barrière = 5 mm

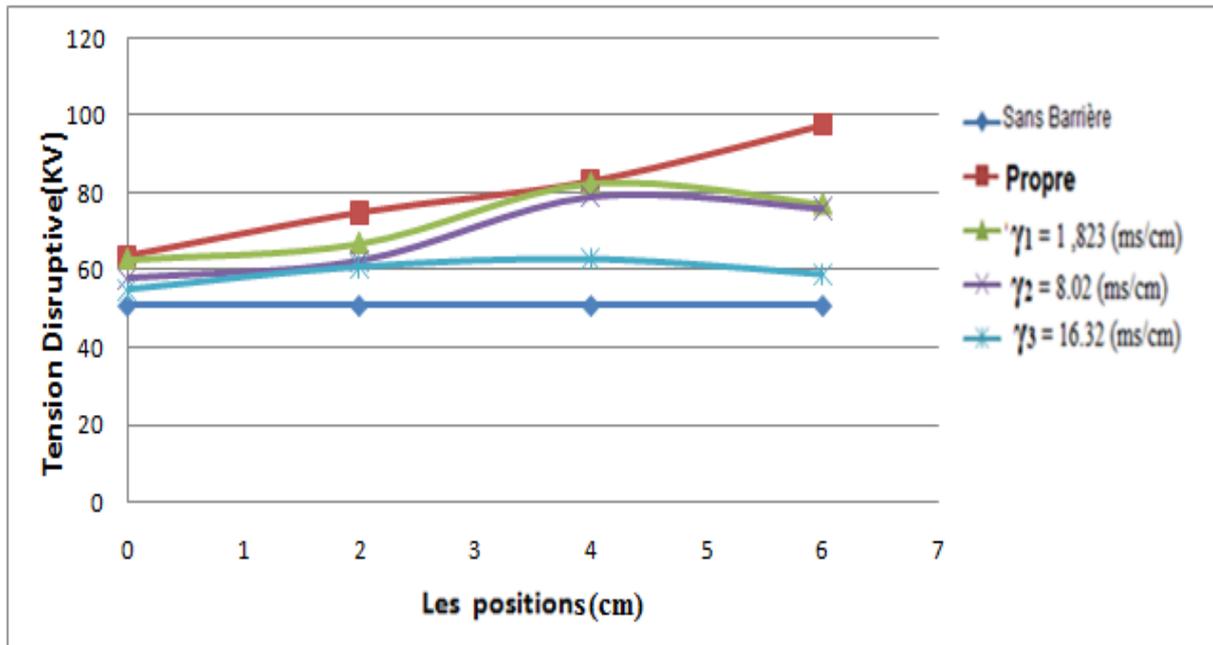


Fig.III.9 Influence de la position de la barrière sur tension disruptive pour une tension continue négative.

• Polarité positive

Tab.III.6 Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et positions sous tension continue positive (épaisseur de 8 mm).

Conductivité (ms/cm) Les positions de la barrière (cm)		Tension disruptive (kV)				
		Sans Barrière	Avec barrière propre	Barrière polluée		
				$\gamma_1 = 1,823$ (ms/cm)	$\gamma_2 = 8,02$ (ms/cm)	$\gamma_3 = 16,32$ (ms/cm)
0	40	57,6	50	46	42	
2	40	65,5	59	54,6	51,6	
4	40	85,9	83,3	80	67,7	
6	40	99,8	77	74,55	60,3	

Avec :

H=41% et **T**=28°.

Epaisseur de la barrière = 8 mm

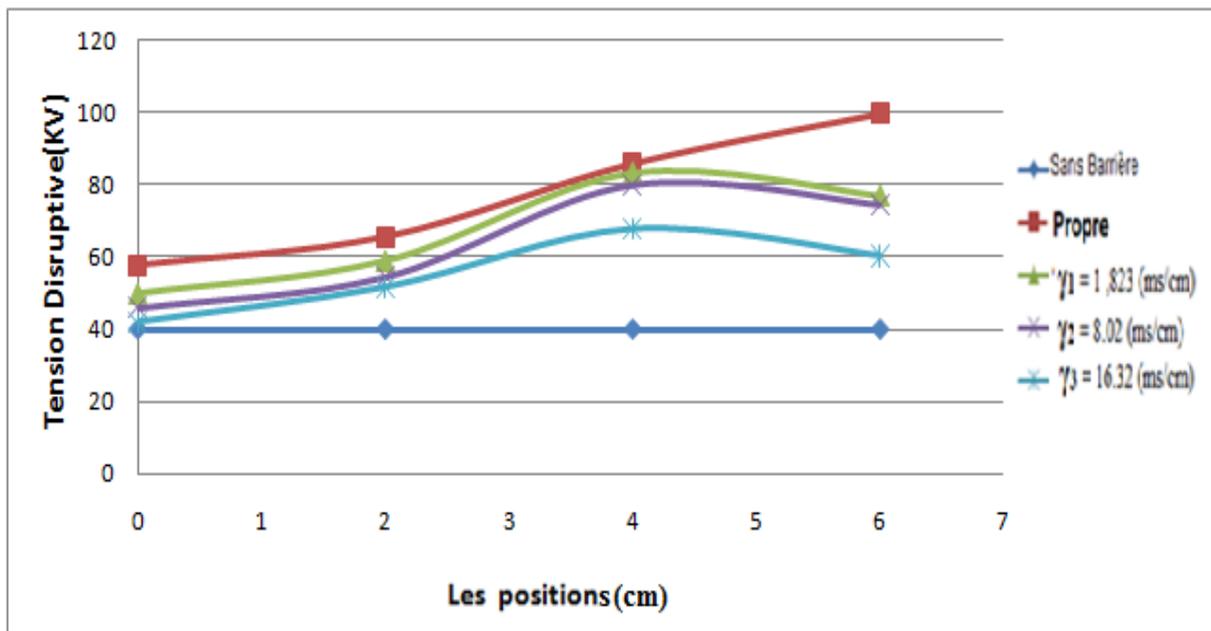


Fig.III.10 Influence de la position de la barrière sur la tension disruptive pour une tension continue positive.

• Polarité négative

Tab.III.7 Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et positions sous tension continue négative (Épaisseur de 8mm).

Conductivité (ms/cm) Les positions de la barrière (cm)		Tension disruptive (kV)				
		Sans Barrière	Avec barrière propre	Barrière polluée		
				$\gamma_1 = 1,823$ (ms/cm)	$\gamma_2 = 8,02$ (ms/cm)	$\gamma_3 = 16,32$ (ms/cm)
0	50,9	69,66	66	62	58,9	
2	50,9	79,9	71,85	68,46	66,73	
4	50,9	88	85,33	82,92	73	
6	50,9	115	80	78,85	64	

Avec :

H=41% et **T**=28°.

Épaisseur de la barrière = 8 mm

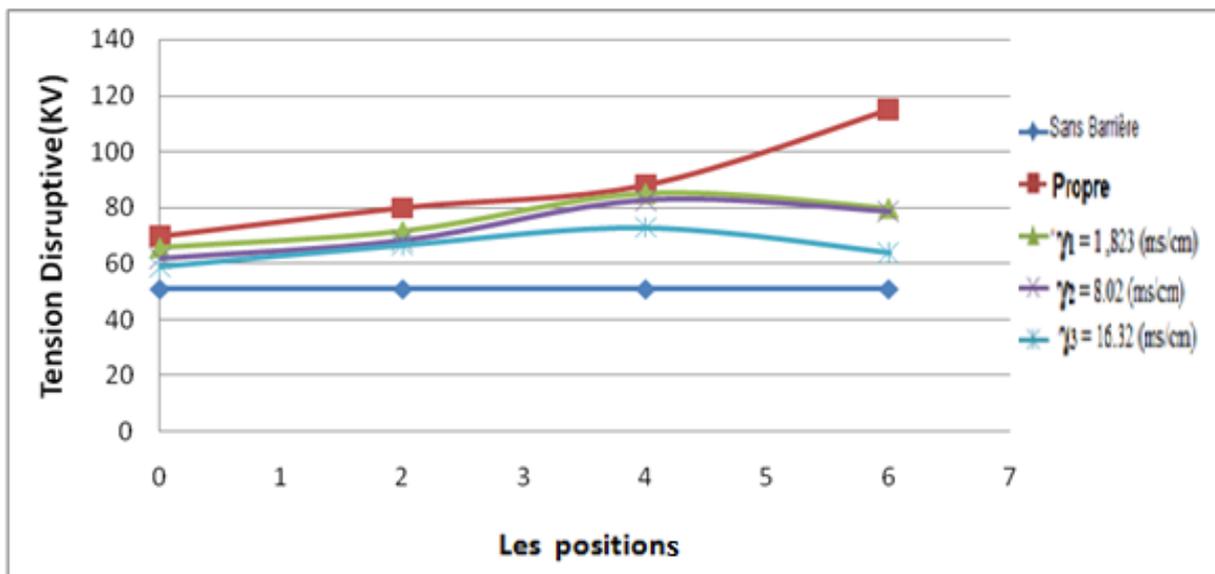


Fig.III.11 Influence de la position de la barrière sur tension disruptive pour une tension continue négative.

III.6.5 Influence des conductivités superficielles

Les figures (III.12-17) représentent la variation de la tension disruptive (U_d) en fonction de la conductivité superficielle, différents position de la barrière. Nous constatons qu'avec l'augmentation de la position pour une conductivité donnée, engendre une augmentation de la tension disruptive qui explique que la position de la barrière influe directement sur la rigidité de système point plan, ensuite l'augmentation de la conductivité superficielle entraîne une diminution de la tension disruptive. (Tableaux.III.8-13).

• Polarité positive

Tab.III.8 Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et positions sous tension continue positive (épaisseur de 3 mm).

Les positions de la barrière (cm) Conductivité (ms/cm)	Tension disruptive (kV)			
	0	2	4	6
$\gamma_1 = 1,823$ (ms/cm)	42	50	76,8	72
$\gamma_2 = 8,02$ (ms/cm)	40,95	49	75,1	70,3
$\gamma_3 = 16,32$ (ms/cm)	38,9	45,5	58	54,6

Epaisseur de la barrière = 3 mm

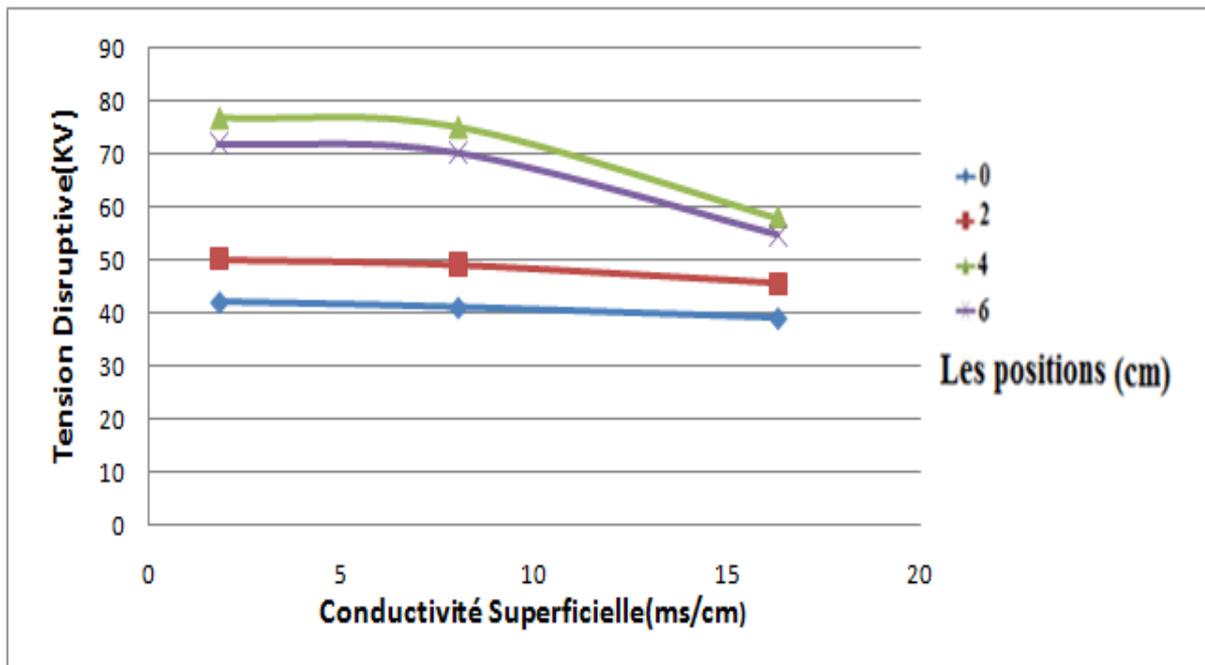


Fig.III.12 Influence de la position de la barrière sur la tension disruptive Pour une déférente conductivité sous tension continue positive.

• Polarité négative

Tab.III.9 Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et positions sous tension continue négative (épaisseur de 3 mm)

Les positions de la barrière (cm) Conductivité (ms/cm)	Tension disruptive (kV)			
	0	2	4	6
$\gamma_1 = 1,823$ (ms/cm)	59	64	79,3	75
$\gamma_2 = 8,02$ (ms/cm)	55	60,2	77	73
$\gamma_3 = 16,32$ (ms/cm)	53	58	60	56

Epaisseur de la barrière = 3 mm

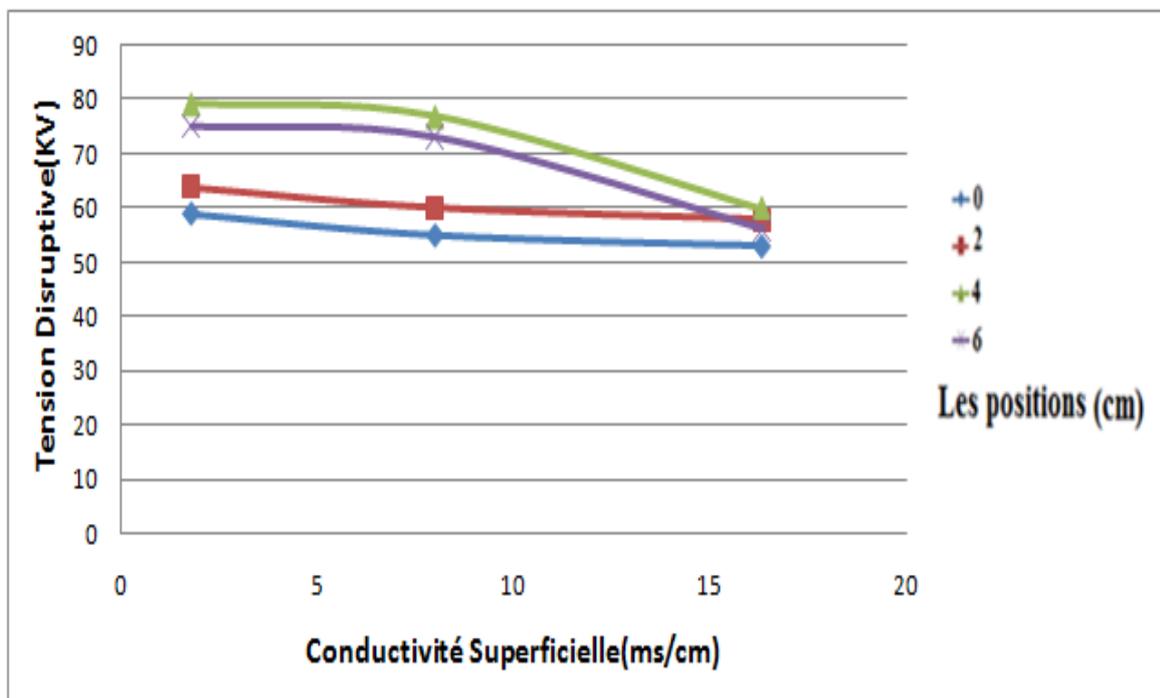


Fig.III.13 Influence de la position de la barrière sur la tension disruptive Pour une déférente conductivité sous tension continue négative.

• Polarité positive

Tab.III.10 Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et positions sous tension continue positive (épaisseur de 5mm).

Les positions de la barrière (cm) Conductivité (ms/cm)	Tension disruptive (kV)			
	0	2	4	6
$\gamma_1 = 1,823$ (ms/cm)	45	54,8	79	74
$\gamma_2 = 8,02$ (ms/cm)	42,9	51,9	76	72,1
$\gamma_3 = 16,32$ (ms/cm)	40,44	47,2	64	57,2

Epaisseur de la barrière = 5 mm

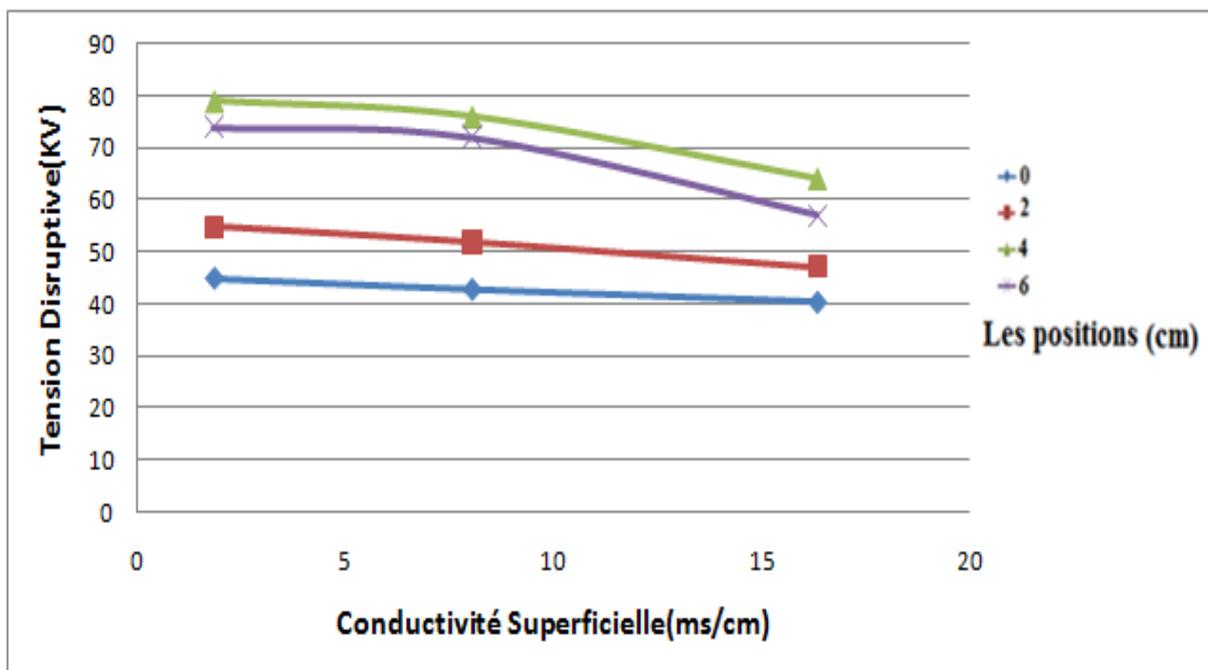


Fig.III.14 Influence de la position de la barrière sur la tension disruptive Pour une déférente conductivité sous tension continue positive.

• Polarité négative

Tab.III.11 Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et positions sous tension continue négative (épaisseur de 5 mm).

Les positions de la barrière (cm) Conductivité (ms/cm)	Tension disruptive (kV)			
	0	2	4	6
$\gamma_1 = 1,823$ (ms/cm)	63	67,1	82,44	77,2
$\gamma_2 = 8,02$ (ms/cm)	58	62,5	79	76
$\gamma_3 = 16,32$ (ms/cm)	55	61	63	59

Epaisseur de la barrière = 5 mm

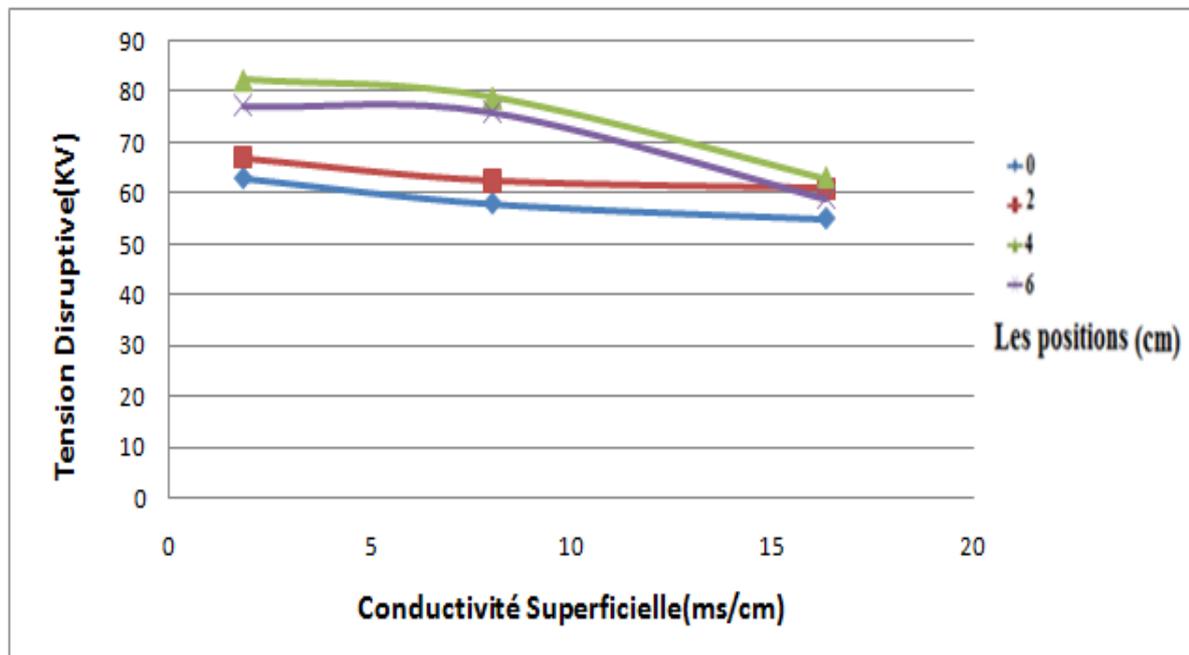


Fig.III.15 Influence de la position de la barrière sur la tension disruptive Pour une déférente conductivité sous tension continue négative.

- **Polarité positive**

Tab.III.12 Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et positions sous tension continue positive (épaisseur de 8mm).

Les positions de la barrière (cm) Conductivité (ms/cm)	Tension disruptive (kV)			
	0	2	4	6
$\gamma_1 = 1,823$ (ms/cm)	50	59	83,3	77
$\gamma_2 = 8,02$ (ms/cm)	46	54,6	80	74,55
$\gamma_3 = 16,32$ (ms/cm)	42	51,6	67,7	60,3

Epaisseur de la barrière = 8 mm

Fig.III.16 Influence de la position de la barrière sur la tension disruptive Pour une déférente conductivité sous tension continue positive.

- **Polarité négative**

Tab.III.13 Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et position sous tension continue négative (épaisseur de 8 mm).

Les positions de la barrière (cm) Conductivité (ms/cm)	Tension disruptive (kV)			
	0	2	4	6
$\gamma_1 = 1,823$ (ms/cm)	66	71,85	85,33	80
$\gamma_2 = 8,02$ (ms/cm)	62	68,46	82,92	78,85
$\gamma_3 = 16,32$ (ms/cm)	58,9	66,73	73	64

Epaisseur de la barrière = 8mm

Fig.III.17 Influence de la position de la barrière sur la tension disruptive Pour une déférente conductivité sous tension continue négative.

III.6.6 Influence de la position de la barrière sur la tension disruptive pour différentes épaisseurs

Ces essais sont réalisés en utilisant des barrières ayant différents épaisseur (3, 5 et 8mm), pour différents distances inter électrodes variant de 0 à 6cm.

Nous observons sur les figures (III.18-23), que la tension disruptive augmente légèrement avec l'augmentation de l'épaisseur de la barrière. Tableaux(III.14-19) En effet, cette augmentation est due à l'augmentation de la longueur minimale de fuite de la décharge définie par la somme des distances pointe- épaisseur de la barrière, épaisseur de la barrière et distance entre la barrière et le plan, toujours pour une conductivité constante.

• Polarité positive

Tab III.14 Tension disruptive en fonction des différentes épaisseurs et positions sous tension continue positive (Pour une $\gamma_1 = Cste$).

		Tension disruptive (kV)		
position (cm) \ épaisseur (mm)	e1 = 3mm	e2 = 5mm	e3 = 8mm	
	0	42	45	50
2	50	54,8	59	
4	76,8	79	83,3	
6	72	74	77	

$\gamma_1 = Cste$

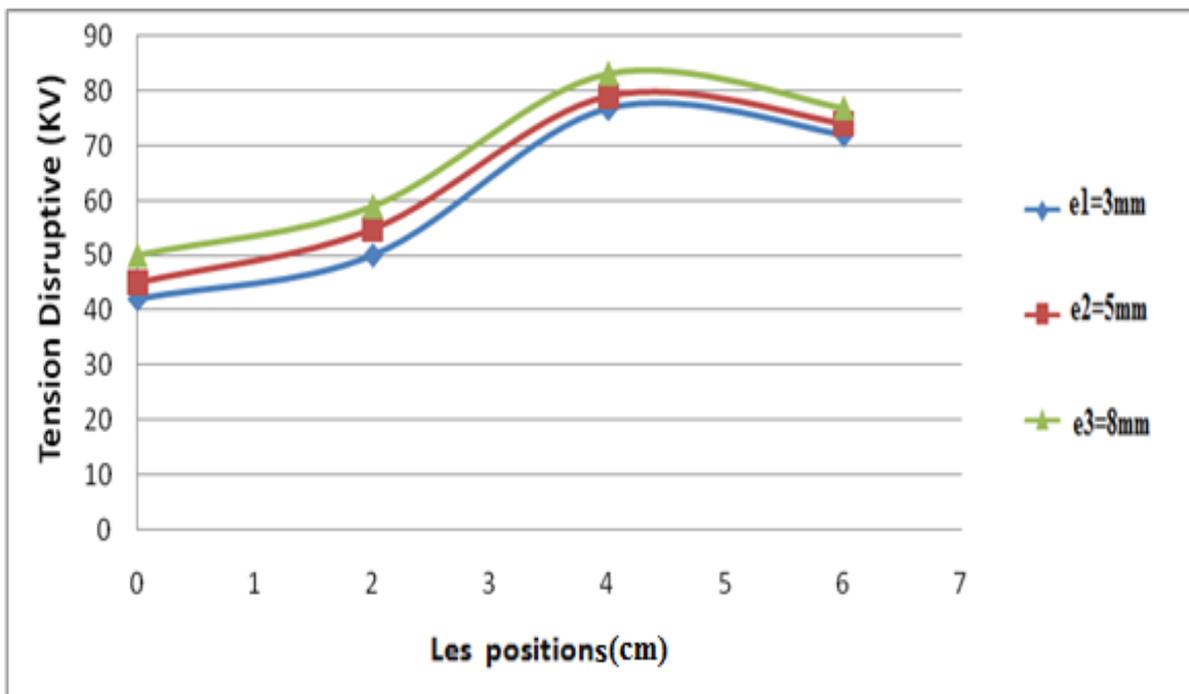


Fig.III.18 Influence de position sur les tensions disruptive pour différentes épaisseur sous tension continue positive (pour $\gamma_1 = Cste$).

• Polarité négative

Tab.III.15 Tension disruptive en fonction des différentes épaisseurs et positions sous tension continue négative (Pour une $\gamma_1 = Cste$).

Position (cm) \ Épaisseur (mm)	Tension disruptive (kV)		
	e1 = 3mm	e2 = 5mm	e3 = 8mm
0	59	63	66
2	64	67,1	71,85
4	79,3	82,44	85,33
6	75	77,2	80

$\gamma_1 = Cste$

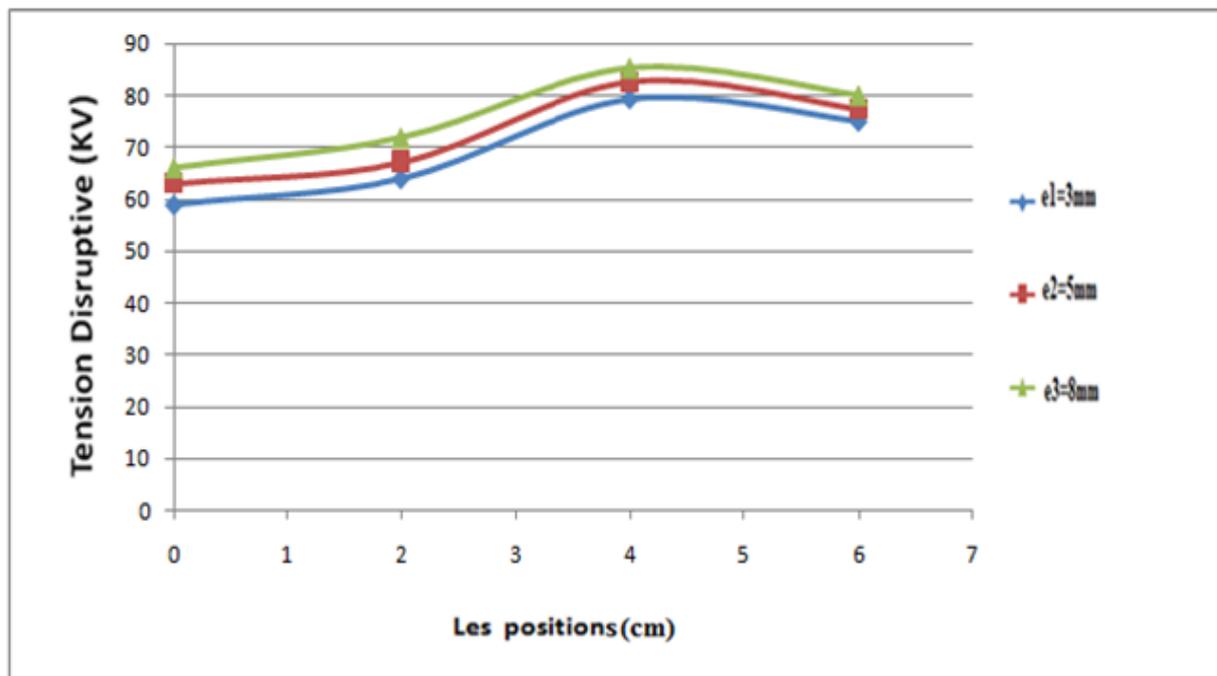


Fig.III.19 Influence de position sur les tensions disruptive pour différentes épaisseur sous tension continue négative (pour $\gamma_1 = Cste$).

- Polarité positive

Tabl.III.16 Tension disruptive en fonction des différentes épaisseurs et positions sous tension continue positive (Pour une $\gamma_2 = \text{Cste}$).

position (cm) \ épaisseur (mm)	Tension disruptive (kV)		
	e1 = 3mm	e2 = 5mm	e3 = 8mm
0	40,95	42,9	46
2	49	51,9	54,6
4	75,1	76	80
6	70,3	72,1	74,55

$\gamma_2 = \text{Cste}$

Fig.III.20 Influence de position sur les tensions disruptive pour différentes épaisseur sous tension continue positive (pour $\gamma_2 = \text{Cste}$).

- **Polarité négative**

Tab.III.17 Tension disruptive en fonction des différentes épaisseurs et positions sous tension continue négative (Pour une $\gamma_2 = \text{Cste}$).

épaisseur (mm) position (cm)	Tension disruptive (kV)		
	e1 = 3mm	e2 = 5mm	e3 = 8mm
0	55	58	62
2	60,2	62,5	68,46
4	77	79	82,92
6	73	76	78,85

$\gamma_2 = \text{Cste}$

Fig.III.21 Influence de position sur les tensions disruptive pour différentes épaisseur, sous tension continue négative pour $\gamma_2 = \text{Cste}$.

- **Polarité positive**

Tab.III.18 Tension disruptive en fonction des différentes épaisseurs et positions sous tension continue positive (Pour une $\gamma_3 = \text{Cste}$).

		Tension disruptive (kV)		
		e1 = 3mm	e2 = 5mm	e3 = 8mm
Position (cm)	Épaisseur (mm)			
	0	38,9	40,44	42
	2	45,5	47,2	51,6
	4	58	64	67,7
	6	54,6	57,2	60,3

$\gamma_3 = \text{Cste}$

Fig.III.22 Influence de position sur les tensions disruptive pour différentes épaisseur sous tension continue négative (pour $\gamma_3 = \text{Cste}$).

- **Polarité négative**

Tab.III.19 Tension disruptive en fonction des différentes épaisseurs et positions sous tension continue négative (Pour une $\gamma_3 = \text{Cste}$).

		Tension disruptive (kV)		
		e1 = 3mm	e2 = 5mm	e3 = 8mm
Position (cm)	Épaisseur (mm)			
	0	53	55	58,9
	2	58	61	66,73
	4	60	63	73
	6	56	59	64

$\gamma_3 = \text{Cste}$

Fig.III.23 Influence de position sur les tensions disruptive pour différentes épaisseur sous tension continue négative (pour $\gamma_3 = \text{Cste}$).

III.6.7 Influence des épaisseurs pour différentes conductivités

L'objectif de ces essais est d'analyser l'influence de l'épaisseur de la barrière sur la tension disruptive des systèmes d'isolation. Le système d'électrodes est toujours le même et la distance inter électrodes est maintenue constante égale à 6 cm.

D'après nos résultats présentés ci dessous (fig.III.24-31), nous constatons que l'épaisseur n'a pratiquement une légère effet, (tab.III.20-27), pour les trois épaisseurs choisies 3,5 et 6mm. Ce résultat à été confirmé par d'autres chercheurs [18], ont trouvé que l'augmentation de l'épaisseur de la barrière entraîne une augmentation de la tension disruptive quelles que soient sa position entre les électrodes.

• Polarité positive

Tab.III.20 Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et épaisseurs sous tension continue positive (Pour une position = 0cm).

Epaisseur (mm)	Conductivité (mS/cm)	Tension disruptive (kV)			
		Propre	$\gamma_1 = 1,823$ (ms/cm)	$\gamma_2 = 8,02$ (ms/cm)	$\gamma_3 = 16,32$ (ms/cm)
3(mm)		50,6	42	40,95	38,9
5(mm)		53,6	45	42,9	40,44
8(mm)		57,6	50	46	42

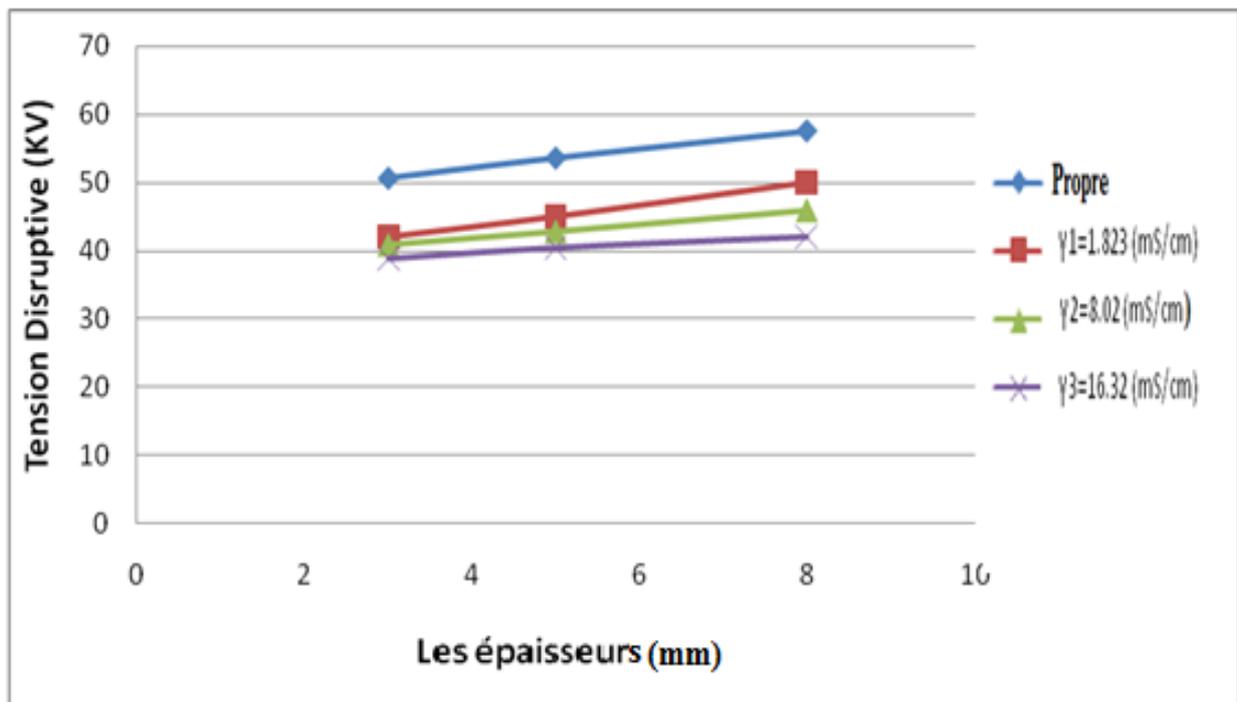


Fig. III.24 Influence des épaisseurs sur la tension disruptive pour différent conductivité sous tension continue positive (Pour une position = 0cm).

• Polarité négative

Tab.III.21 Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et épaisseurs sous tension continue négative (Pour une position = 0cm).

Epaisseur (mm)	Conductivité (mS/cm)	Tension disruptive (kV)			
		Propre	$\gamma_1 = 1,823$ (ms/cm)	$\gamma_2 = 8,02$ (ms/cm)	$\gamma_3 = 16,32$ (ms/cm)
3(mm)		60	59	55	53
5(mm)		63,66	63	58	55
8(mm)		69,66	66	62	58,9

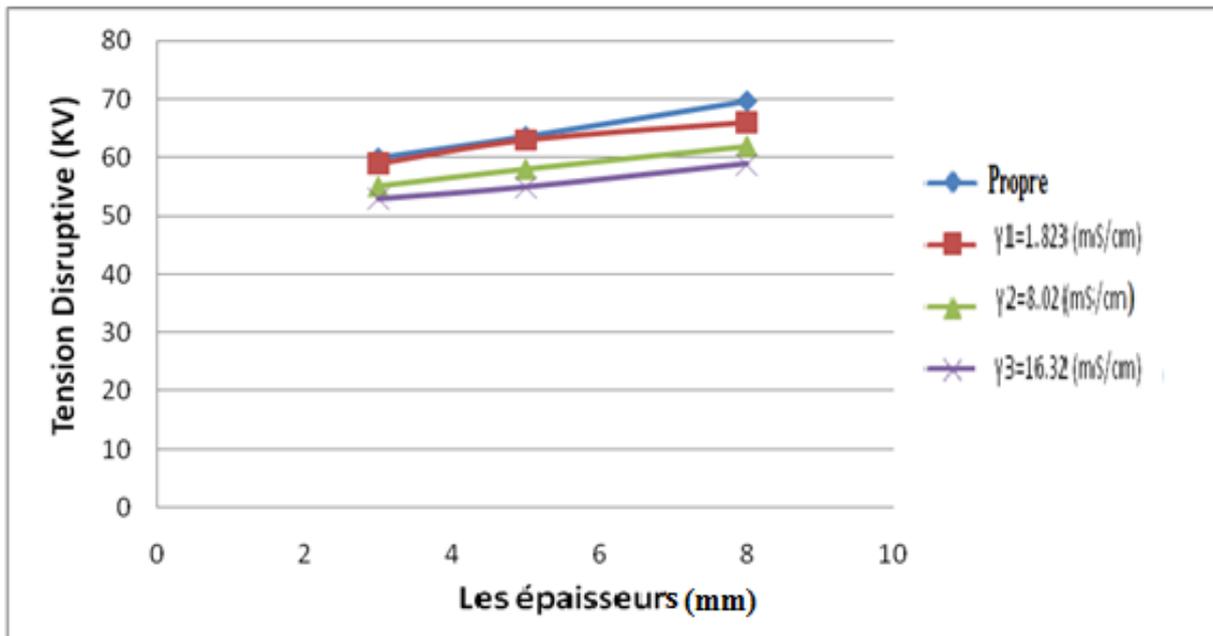


Fig.III.25 Influence des épaisseurs sur la tension disruptive pour différent conductivité sous tension continue négative (Pour une position = 0cm).

• Polarité positive

Tab.III.22 Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et épaisseurs sous tension continue positive (Pour une position = 2cm).

		Tension disruptive (kV)			
Epaisseur (mm)	Conductivité (mS/cm)	Propre	$\gamma_1 = 1,823$ (ms/cm)	$\gamma_2 = 8,02$ (ms/cm)	$\gamma_3 = 16,32$ (ms/cm)
		3(mm)	58	50	49
5(mm)	60,5	54,8	51,9	47,2	
8(mm)	65,5	59	54,6	51,6	

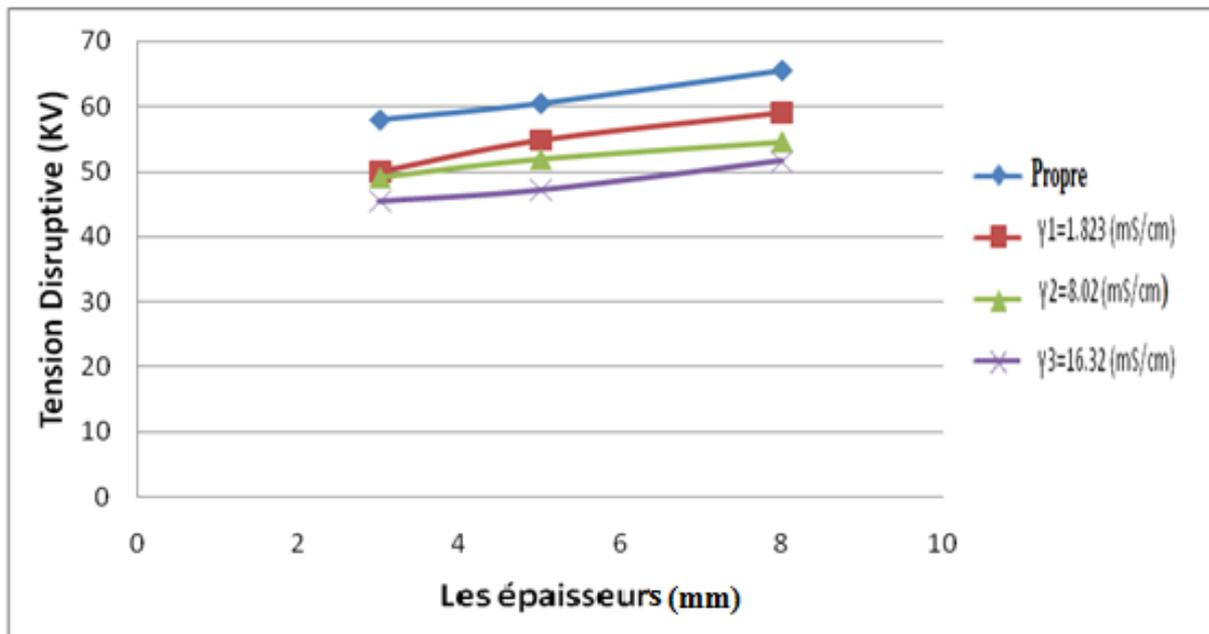


Fig.III.26 Influence des épaisseurs sur la tension disruptive pour différent conductivité sous tension continue positive (Pour une position = 2cm).

• Polarité négative

Tab.III.23 Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et épaisseurs sous tension continue négative (Pour une position = 2cm).

Conductivité Epaisseur (mm)	Tension disruptive (kV)			
	Propre	$\gamma_1 = 1,823$ (ms/cm)	$\gamma_2 = 8,02$ (ms/cm)	$\gamma_3 = 16,32$ (ms/cm)
3(mm)	70,9	64	60,2	58
5(mm)	74,9	67,1	62,5	61
8(mm)	79,9	71,85	68,46	66,73

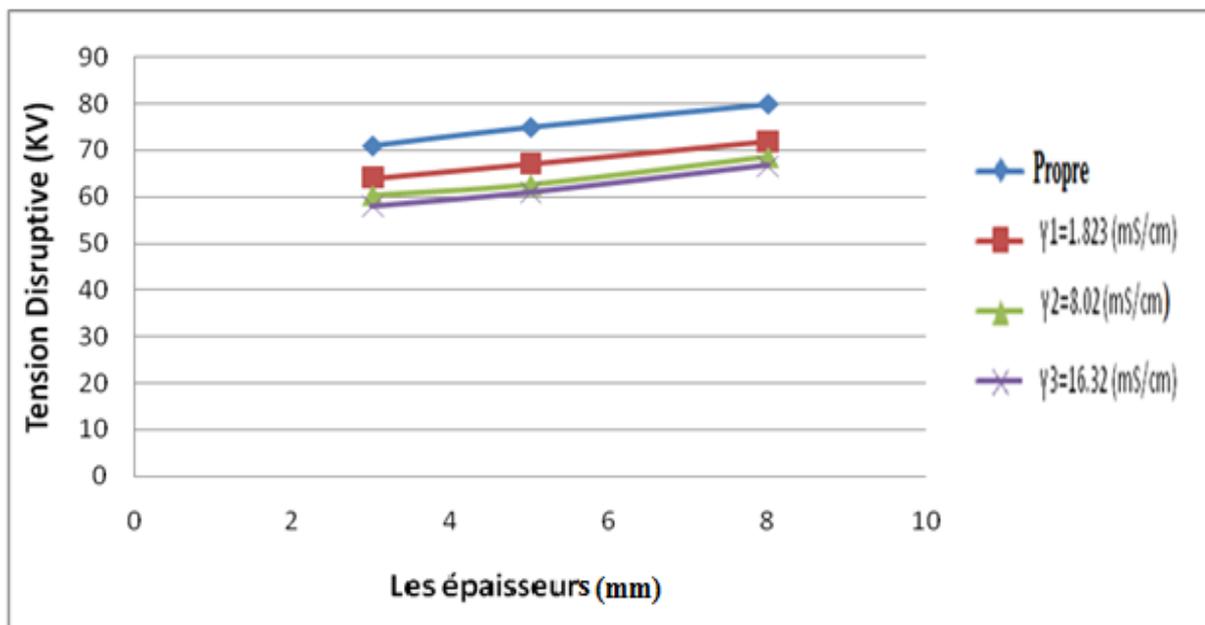


Fig.III.27 Influence des épaisseurs sur la tension disruptive pour différent conductivité sous tension continue négative (Pour une position = 2cm).

• Polarité positive

Tab.III.24 Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et épaisseurs sous tension continue positive (Pour une position = 4cm).

Epaisseur (mm)	Conductivité (mS/cm)	Tension disruptive (kV)			
		Propre	$\gamma_1 = 1,823$ (ms/cm)	$\gamma_2 = 8,02$ (ms/cm)	$\gamma_3 = 16,32$ (ms/cm)
3(mm)		78	76,8	75,1	58
5(mm)		80,9	79	76	64
8(mm)		85,9	83,3	80	67,7

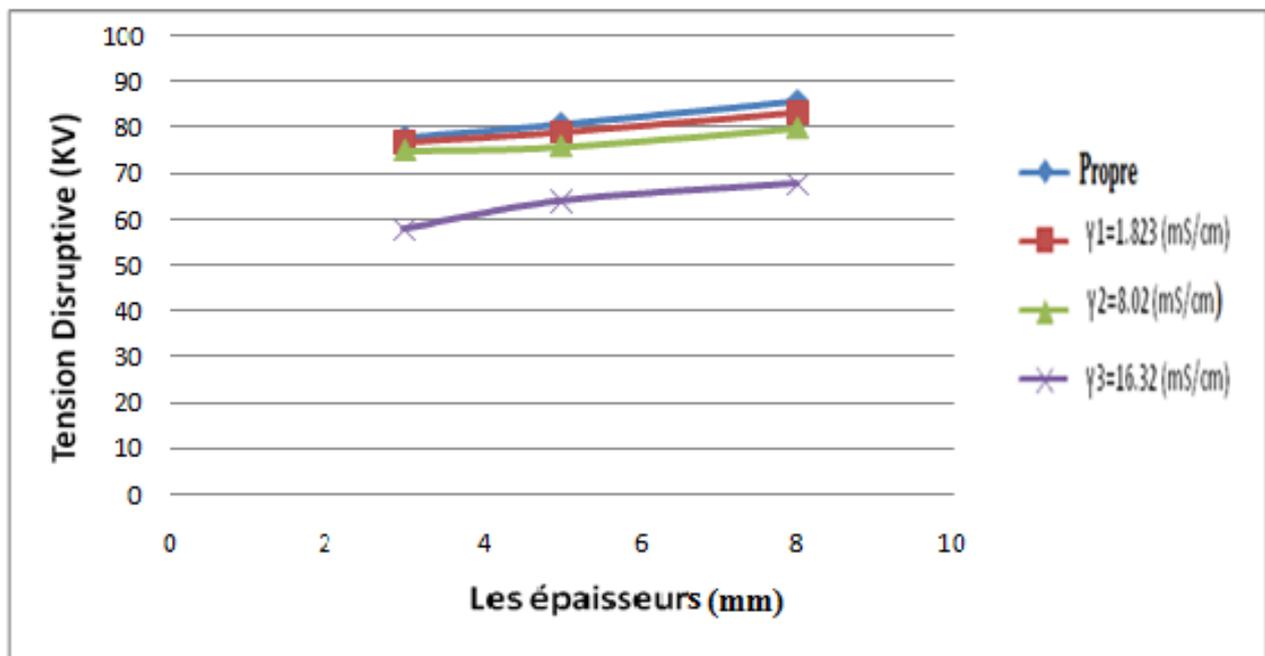


Fig.III.28 Influence des épaisseurs sur la tension disruptive pour différent conductivité sous tension continue positive (Pour une position = 4cm).

• Polarité négative

Tab.III.25 Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et épaisseurs sous tension continue négative (Pour une position = 4cm).

		Tension disruptive (kV)			
Epaisseur (mm)	Conductivité (mS/cm)	Propre	$\gamma_1 = 1,823$ (ms/cm)	$\gamma_2 = 8,02$ (ms/cm)	$\gamma_3 = 16,32$ (ms/cm)
		3(mm)	80	79,3	77
5(mm)	83	82,44	79	63	
8(mm)	88	85,33	82,92	73	

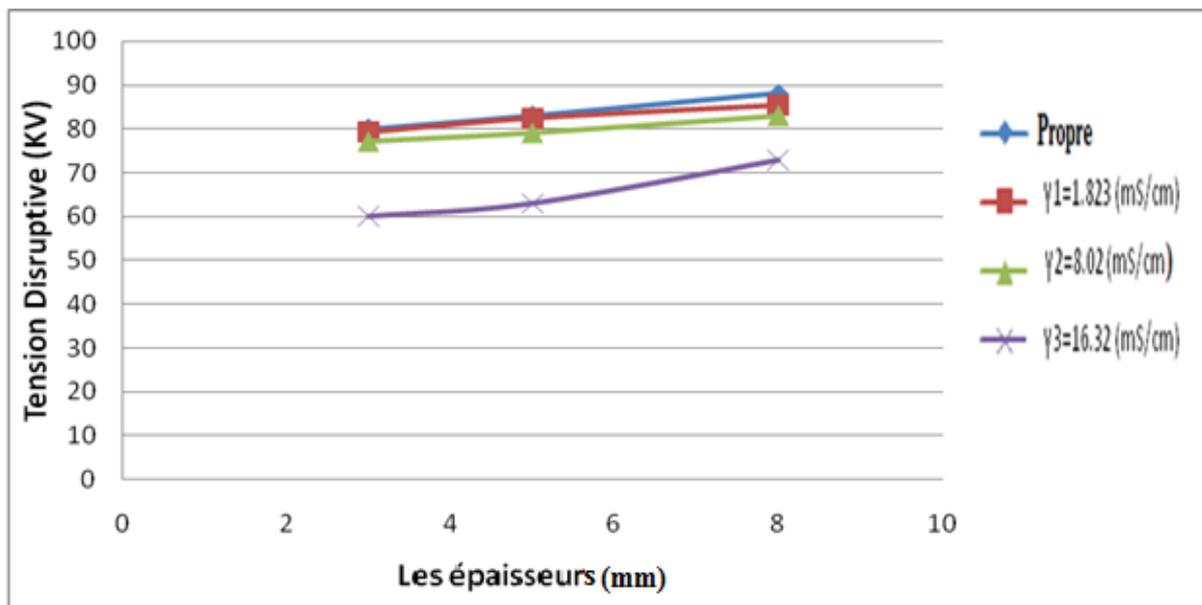


Fig.III.29 Influence des épaisseurs sur la tension disruptive pour différent conductivité sous tension continue négative (Pour une position = 4cm).

• Polarité positive

Tab.III.26 Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et épaisseurs sous tension continue positive (Pour une position = 6cm).

Epaisseur (mm) \ Conductivité (mS/cm)	Tension disruptive (kV)			
	Propre	$\gamma_1 = 1,823$ (ms/cm)	$\gamma_2 = 8,02$ (ms/cm)	$\gamma_3 = 16,32$ (ms/cm)
3(mm)	92	72	70,3	54,6
5(mm)	95	74	72,1	57,2
8(mm)	99,8	77	74,55	60,3

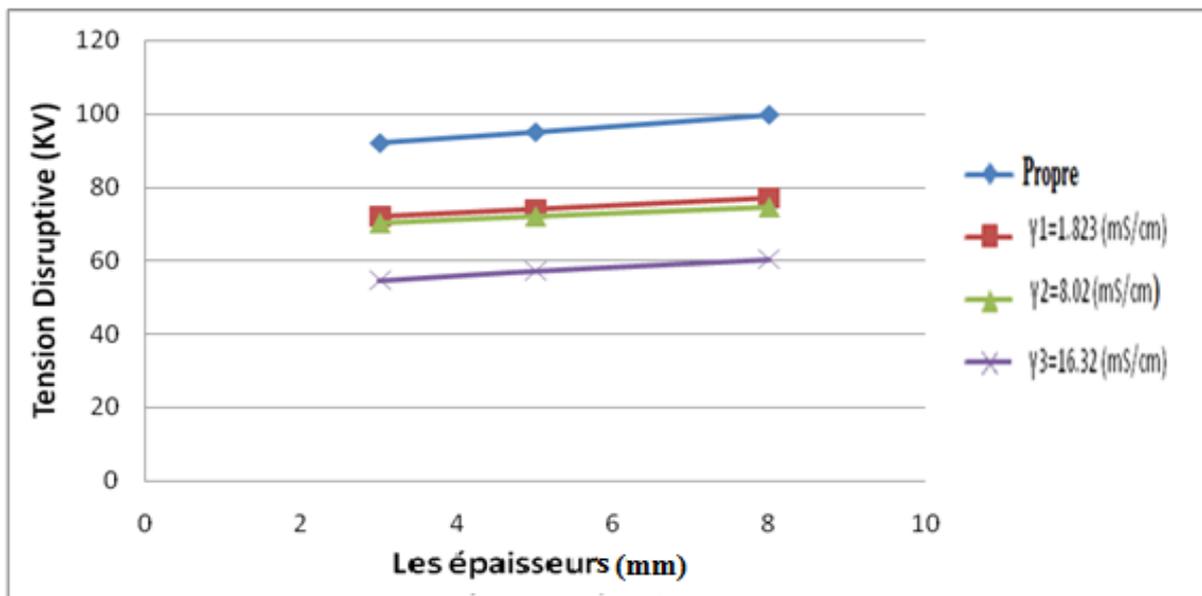


Fig.III.30 Influence des épaisseurs sur la tension disruptive pour différent conductivité sous tension continue positive (Pour une position = 6cm).

• Polarité négative

Tab.III.27 Tension disruptive en fonction des différentes conductivités et épaisseurs sous tension continue négative (Pour une position = 6cm).

Conductivité (mS/cm) Epaisseur (mm)		Tension disruptive (kV)			
		Propre	$\gamma_1 = 1,823$ (ms/cm)	$\gamma_2 = 8,02$ (ms/cm)	$\gamma_3 = 16,32$ (ms/cm)
3(mm)		95,5	75	73	56
5(mm)		97,5	77,2	76	59
8(mm)		115	80	78,85	64

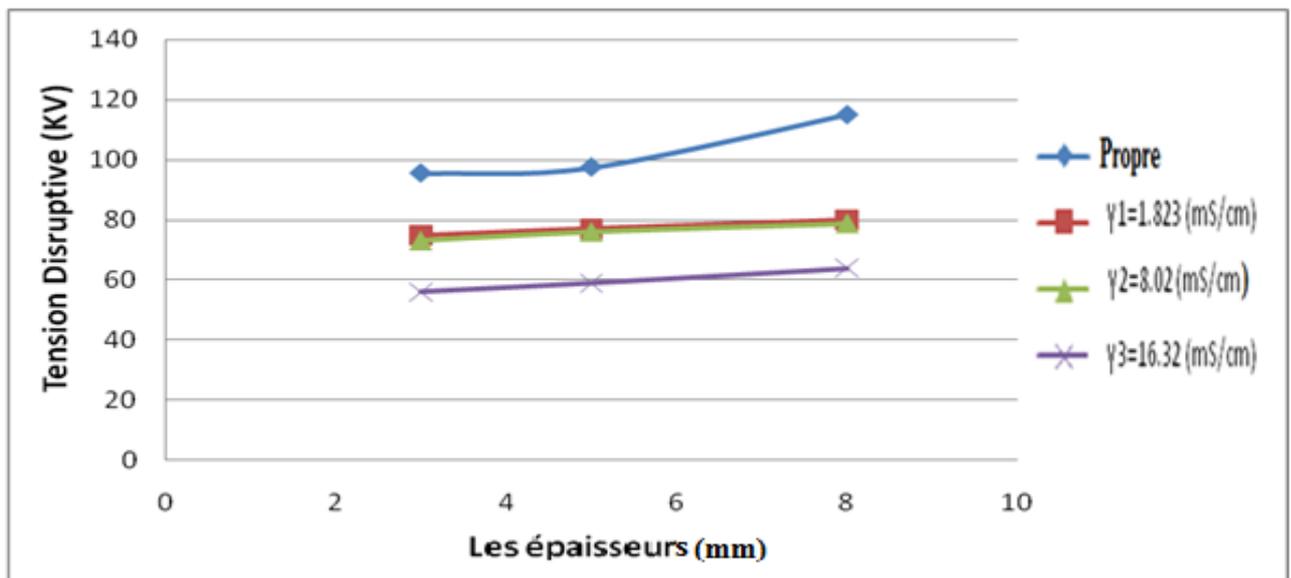


Fig.III.31 Influence des épaisseurs sur la tension disruptive pour différent conductivité sous tension continue négative (Pour une position = 6cm).

III.7 Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'apporter une contribution qualitative à l'influence de certains paramètres électro-géométriques sur la tension de disruptive, dans une configuration pointe-plan sous tension continue, en présence d'une barrière isolante.

Les essais effectués ont permis, de visualiser l'influence de la distance inter-électrodes, la conductivité sur la tension de disruptive. Ainsi l'augmentation de la position de la barrière isolante inter-électrodes engendre un accroissement de la tension de disruptive. Par contre l'influence de l'épaisseur est légèrement remarquable.

L'insertion d'une barrière isolante entre les deux électrodes conduit à augmenter la tension disruptive. Cette augmentation est considérable lorsque la barrière est placée dans sa position optimale: au voisinage de la pointe. C'est-à-dire l'augmentation de la largeur de la plaque isolante engendre une augmentation de la tenue diélectrique.

Conclusion

Générale

Conclusion générale

La recherche bibliographique répartie sur les deux premiers chapitres, nous a permis d'acquérir des connaissances sur le mécanisme de décharges électriques dans les intervalles d'air général et ainsi que sur l'influence des barrières isolantes sur la tension de décharge disruptive dans les intervalles d'air.

Il ressort des différents résultats expérimentaux recueillis, les principales conclusions suivantes :

1- Dans les intervalles d'air « pointe – plan », pour une tension continue, la barrière isolante à surface propre joue en premier lieu le rôle d'obstacle géométrique provoquant l'allongement de la décharge disruptive et en conséquence 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.

2- L'efficacité de la barrière dépend principalement de sa position entre les électrodes. Cependant, la caractéristique de la tension disruptive en fonction de la position de la barrière a une allure décroissante ; elle a un maximum lorsque la barrière est placée au voisinage de l'électrode pointe. Cela est dû au fait que la barrière uniformise la distribution du champ électrique entre la barrière et le plan. D'autre part, la barrière joue le rôle d'obstacle géométrique à la décharge directe. En effet, nous avons observé expérimentalement qu'en présence d'une barrière isolante, la décharge se propage de la pointe vers le bord de la barrière, et ensuite vers l'électrode plane.

3- La tension disruptive diminue si la conductivité superficielle augmente pour une épaisseur donnée, qui signifie que le système point-barrière-plan est plus rigide dans le cas où la conductivité superficielle est faible.

4- La décharge directe est observée lorsque la barrière se trouve loin des deux électrodes et pour une largeur de la barrière inférieure à cinq fois la distance pointe-plan.

5- Concernant la tension continue négative, 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.

Références Bibliographiques

Bibliographies

- [1] **A.Bérroual and A.Boubakeur** , " Influence of Barriers on the Lightning and Switching impulse strength of Mean Air gaps in point/plane Arrangements." , IEEE Transactions on Electrical Insulation. Vol. 26 No. 6, December 1991.
- [2] **R.Fournier**, « Les isolants en électrotechnique concepts et théories », Edition Eyrolles, Paris 1986.
- [3] **E.Kuffel, W. Zaengl, J. Kuffel**, « High voltage engineering Fundamentals» Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford 2000.
- [4] **C.Gary, M.Moreau**, « L'effet couronne », édition Eyrolles Paris1976.
- [5] **R. Papoular**, « Phénomènes électriques dans les gaz », Edition Dunod, Paris1963.
- [6] **G. Le Roy, C. Gray, B. Hutzler, J. Lalot, Ch Dubanton** , " les propriétés diélectriques de l'air et les très hautes tension". Edition eyrolles, Paris 1984.
- [7] **J.Arianer** « les processus d'ionisation ». Cours université Paris sud .2004.
- [8] **I. Ndiaye**, « Initiation et développement des décharges couronnes sur une surface de glace », Mémoire de maîtrise présentée devant l'UQAC, pp. 13-37, Chicoutimi 2003.
- [9] **N. St. J. Braithwaite**, « Introduction to gas discharges », Plasma Sources Sci.Technol, 9, pp 517 - 527, 2000.
- [10] **E.Badaru, J.Popescu**, « Gaz ionisée –décharges électriques dans les gaz »,Edition Dunod Paris, 1965
- [11] **C. Gary**, « Effet couronne sur les réseaux électriques aériens », Technique de l'ingénieur, D4440, pp. 1-25.
- [12] **A.Boubakeur**, « Influence des barrières sur la tension de décharge disruptive des moyens intervalles d'air pointe-plan »,Thèse Doctorat ,E.P .Varsovie ,Pologne,1979.
- [13] **N.N. Tikhodeev**, « Effect of an incomplete barrière in electrical discharge; new experiments and advances in theory », Soviet Physics Tech. Phys, Vol.2, pp.385, 1957.
- [14] **M.Awad**, « Disruption d'un intervalle d'air pointe-plan avec barrière polluée », Elektrie 29, H10, pp.559, 1975.
- [15] **A.Boubakeur**, « Influence des barrières sur l'amorçage des moyens intervalles d'air pointe- plan », Rozprawy Elektryczne (Polish Academy of Sciences), Vol.27, N°3, pp.729-744,1981
- [16] **H.E. Remde, H.Boeker**, « Voltage-current characteristics during propagation of à

surge breakdown of à point-to-plane gap with insulating barrier », IEEE. Trans, Vol. 91, N° 1, pp.271-276, 1972.

[17] **B. Boubekki**, « Mesure du champ électrique dans un système pointe-plan avec barrière isolante sous tension de choc de foudre », Mémoire de Magister, École nationale polytechnique d'Alger, 2006.

[18] **Ramzi Deghnouche** « Etude de l'influence de la barrière isolante sur l'amorçage des intervalles d'air pointe-plan » P.F.E 2007 Département de Génie Electrique, , université de Biskra,, Algérie, Juin 2007.

[19] **A.Boubakeur, J. L. Jakubowski**, " Influence of insulating screens covered by conducting layers on the breakdown voltage of point-plane air gaps "AJOT, série B ,volume 11N^o1,1995.

[20] **J. L. Jakubowski, A. Boubakeur**, «Rigidité diélectrique des moyens intervallesd'air dans les systèmes isolants pointe-plan avec barrière». Bulletin de l'Académie Polonaise des Sciences, 10 séries des sciences, volume 28, N°9-10, 1980, pp.141-146.

[21] **A.Boubakeur**, “Influence d'une barrière isolante sur la rigidité des intervalles d'air Pointe-Plan à 50Hz”. Laboratoire de haute tension ENP.

[22] «Technique des essais à haute tension », pub l. CEI, No. 60 -1 (1973),60-2 (1973),60-3 (1976), 60-4 (1977),Genève ,1973,1976,1977.

[23] **Z.You-Bin** « the influence of the electrode material of rod-rod cap with tip on its DC breakdown voltage » graz 1995.