

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE



Mémoire De Fin D'études

*En vue de l'obtention du diplôme
D'ingénieur d'état en électrotechnique
Options: Réseaux Electrique*

THÈME

**EFFET D'UNE COUCHE
ISOLANTE SUR
LA DECHARGE
COURONNE EN
ALTERNATIF ET EN**

Proposé & dirigé par :

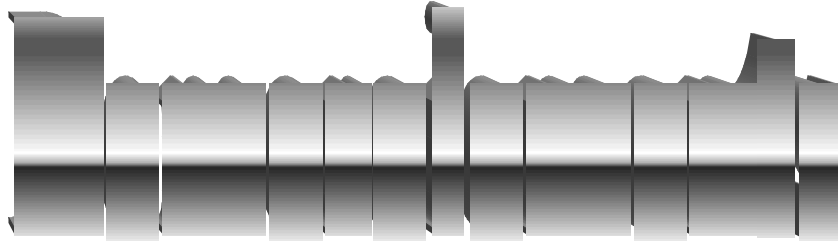
Mr: M. MEKIOUS

Etudié par :

L. HADJADJ

S. SMAILI

2007-2008



Nous remercions tout d'abord Dieu tout puissant, pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant toutes ces années d'études.

Ainsi on remercie notre promoteur M^R M.Mekious pour ces conseils et ces orientations qui nous ont été de très grandes utilités dans la réalisation de notre travail.

Nos sincères remerciements s'adressent aussi à M^R M .Moudoud, et M^R M .Megherbi, et tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Et à tous ceux qui nous ont aidé de loin ou de près, puissent trouver ici le témoignage de notre profonde reconnaissance.

Nous tenons également à remercier M^{elle} S .Mehrez.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à toute ma famille, qui m'a été la source d'encouragements et d'assurance durant mes séjours, en particulier à :

- *Mes chers parents,*
- *Mes chères grandes mères,*
- *Mon futur époux Djamel et toute sa famille,*
- *Mes frères, Mohamed, morad,*
- *Mes sœurs, Karima, fazia, Lamia,*
- *Toute mes cousins et mes cousines,*

Je dédie ce travail également à :

Tous mes amis (es) en particulier : Taous, Nawal, Kahina, Saida,
Ma binôme Lynda et toute sa famille.

Samia

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à toute ma famille, qui m'a été la source d'encouragements et d'assurance durant mes séjours, en particulier à :

- *Mes chers parents,*
- *Mon mari Said,*
- *Mes chers bons parents,*
- *Mon bon frère Youssaf,*
- *Mes chers grands parents,*
- *Mes frères, Mohamed, Omar,*
- *Mes sœurs, Samira, Sadjai, Rima, Salwa, Assia,*

Je dédie ce travail également à :

Tous mes amis (es) ,

Ma binôme Samia et toute sa famille.

.

Lynda

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : généralités sur les décharges dans les gaz	
I-1. Introduction	2
I- 2. Notions de base	2
I-2-1. Le gaz	2
I-2-2. Phénomène de collision	3
I-2-3. Phénomène d'excitation et d'ionisation	4
I-2-3-1. L'excitation	4
I-2-3-2. L'ionisation	4
• Ionisation thermique	4
• Ionisation par choc	4
• Ionisation par photon	5
I-2-4. Phénomène de désxcitation et dé-ionisation	5
I-2-5. Recombinaison et L'attachement	5
I-2-5-1. L'attachement	5
I-2-5-2. La recombinaison	6
• Recombinaison entre ions	6
• Recombinaison ion avec électron	6
I-2-6. Attachement électronique	7
I-2-7. Mobilité	7
I-2-8. Diffusion	8
I-3. Décharge électrique dans le gaz	8
I-3-1. Caractéristique d'une décharge dans les gaz	9
I-3-2. Décharge non autonome	10
I-3-3. Décharge autonome à faible pression (décharge de Townsend)	11
I-3-3-1. Décharge de Townsend	11
I-3-3-2. Critère de décharge de Townsend	12
I-3-3-3. Effet de la charge d'espace	14
I-3-3-4. Temps d'établissement de la décharge de Townsend	14
I-3-3-5. Limites du critère de Townsend	15

I-3-3-6. Tension d'amorçage en champ homogène (loi de paschen)	16
I-3-4. Décharge autonome à pression élevée ($p \geq 1 \text{ atm}$) (Théorie des streamers)	17
• Critère de Meek	17
• Critère de Reather	17
Conclusion	18
Chapitre II : Notions sur la décharge couronne	
II-1. Introduction	19
II-2. L'amorçage dans une structure à champ divergent	19
II-3. Distribution du champ électrique sur un système pointe- plan, plan- plan	20
• Système plan- plan	20
• Système pointe- plan	20
II-4. Topographie de la décharge couronne	21
II-5. Caractéristiques courant- tension	22
II-6. Les facteurs influençant la décharge couronne	23
II-6-1. Influence de la polarité sur le processus du développement de la décharge couronne	23
II-6-2. Facteurs physico- chimique du gaz	25
• Nature du gaz	25
• Influence de la densité de l'air	25
• Influence de l'humidité	25
• Influence de la température	26
• Influence de la pression	26
II-6-3. Facteurs géométriques	26
• Influence de la forme d'électrode	26
• Influence de l'état de surface	28
• Influence du rayon de la courbure de la pointe	29
• Influence de la distance inter- électrodes	29
II-6-4. Facteurs électriques	30
II-7. Décharge couronne avec une barrière	30
II-7-1. Les barrières	30
II-7-2. Les paramètres définissant la nature de la barrière	31
• La résistivité transversale	31
• La résistivité superficielle	31

• La résistance de l'isolement	31
• Constante diélectrique ou permittivité relative	31
• La rigidité diélectrique	31
• Les pertes diélectriques	32
• Relaxation	32
II-8. Influence de la barrière sur la décharge couronne	32
II-9. La décharge électrique pour les grandes distances	33
II-10. Mécanismes de claquage dans un système pointe- plan	34
II-10-1. Mécanisme électrique	34
II-10-2. Mécanisme thermique	35
II-11. L'effet couronne sur les lignes aériennes	36
II-11-1. Calcul du champ critique (formule de Peek)	36
II-11-2. Les pertes par effet couronne	37
II-11-3. Application des décharges couronne	37
II-11-4. Problèmes liés aux décharges couronne	37
II-11-4. Réduction de l'effet couronne sur les lignes électriques	38
II-11-5. Réduction de l'effet couronne dans les postes électriques	38
Conclusion	39
Chapitre III - Résultats expérimentaux et discussion	
III-1. Introduction	40
III-2. Dispositif expérimental	40
III-3. Les matériaux utilisés	41
III-3-1. Propriétés des matériaux utilisés	41
III-3-1-1 Le poly méthacrylate de méthyle (PMMA)	41
III-3-1-2. Le styrène –acrylonitrile (SAN)	41
III-4. Mode opératoire	42
III-5. Résultats et commentaires	42
III-5-1. Influence de la distance inter- électrode	42
III-5-1-1. En tension continue	42
III-5-1-2. En tension alternative	45
III-5-2. Influence du type de tension	46
III-5-3. Influence des différents matériaux des barrières	48
• En polarité positive	48

• En polarité négative	48
III-5-4. Variation temporelle du courant pour différentes tensions et polarités	49
Conclusion	54
Conclusion générale	55
Bibliographie	

I-1. Introduction :

Les gaz sont de très bons isolants électriques, ils constituent un des éléments de base de l'isolation des matériels électriques, ils présentent un grand avantage, celui d'être une isolation autorogénératrice. Parmi ces gaz on trouve l'azote, le CO₂, SF₆, et l'air qui est le plus utilisé car il est disponible en quantité et gratuitement.

A l'état naturel, les gaz peuvent présenter une certaine conductivité, celle-ci s'explique par l'existence d'électrons libres produits par une ionisation due aux rayons cosmiques et solaire ou un échauffement ainsi que la radioactivité naturelle ; ce qui fait qu'à l'application d'un champ électrique ces charges se déplacent, donc un courant électrique apparaît, ce dernier dépend du champ électrique appliqué.

En effet tant que le champ appliqué est faible, le gaz garde ses caractéristiques d'isolant, mais en dépassant un certain seuil, le gaz présente une conductivité supérieure due à une ionisation qui s'effectue par collision entre les particules et crée des photons et des électrons, ce phénomène se développe en fonction de différents paramètres (électriques, géométriques, extérieurs).

I-2. Notions de base :

I-2-1. Le gaz:

Les gaz sont en général, des bons isolants électriques, ils sont constitués d'un grand nombre de particules de types différentes : atomes, molécules, ions, électrons.

Ces particules sont uniformément réparties en équilibre, chaque particule est soumise à une énergie: énergie de translation dans le cas d'un atome, une énergie de rotation et de vibration dans le cas d'une molécule [1] :

Dans le cas d'un atome son énergie cinétique est définie comme suit:

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}KT \quad (I-1)$$

m : la masse de la particule.

v : la vitesse quadratique moyenne.

T : Température thermodynamique.

K : Constante de Boltzmann ($K = 1,38.10^{-23}$ J/K).

I-2-2. Phénomènes de collision :

Au cours de leur mouvement, les particules peuvent se rencontrer au sens où elles se rapprochent suffisamment pour donner lieu à une modification de leurs énergies respectives (avec conservation de l'énergie total) [1].

- Si les particules n'échangent que de l'énergie cinétique de translation, on parle de *choc élastique*, c'est le cas de presque tous les atomes dans un gaz pris dans des conditions de pression et température normales.
- Ces échanges sont d'autant plus importants qu'ils ont lieu entre des particules de masses voisines.
- Si l'une des particules est beaucoup plus légère (cas d'un électron), le transfert d'énergie est très faible, donc la particule lourde est peu influencée par l'autre. Si les particules échangent une partie de l'énergie interne, on parle de choc *non élastique* [1].

En ce que concerne la décharge dans les gaz, les collisions non élastiques ne concernent que les électrons de la couche électronique supérieure dit de valence qui sont impliqués dans les réactions chimiques [7] :

On définit la probabilité p d'une particule donnée d'un type de collision par la loi suivante :

$$p = \frac{dn_c}{dx} = n\sigma(v) \quad (\text{I-2})$$

dn_c : nombre de collisions.

dx : déplacement élémentaire.

n : est la densité de particule de gaz.

$\sigma(v)$: la section efficace de collision considérée, dans le cas général, σ dépend de la vitesse relative des deux particules en interaction [1].

Une autre grandeur moyenne fréquemment utilisée et directement liée à la section efficace de collision est le *libre parcours moyen* λ , qui est la distance moyenne parcourue par l'atome entre deux chocs successifs [2].

Donc :

$$\lambda = \frac{1}{p} = \frac{1}{n\sigma} \quad (\text{I-3})$$

Le libre parcours moyen varie proportionnellement avec la température absolue et inversement avec la pression [2].

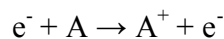
Cette notion est intéressante, car si l'électron accéléré par le champ électrique acquiert une énergie cinétique suffisante, il pourra alors ioniser ou exciter la molécule neutre rencontrée, la réactivité du milieu plasmagène dépendra de la composition du gaz introduit dont la section efficace varie en fonction de la nature du gaz et de son niveau d'excitation électrique (pour les molécules dans leur état fondamental), nous avons par exemple [3] :

- Pression et température du gaz introduit,
- Tension appliquée (responsable de l'intensité du champ électrique),
- Géométrie des électrodes (responsable de la forme des lignes de champ).

I-2-3. Phénomènes d'excitation et d'ionisation :

I-2-3-1. L'excitation :

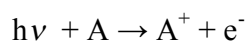
A partir d'un certain niveau d'énergie dit *énergie d'ionisation*, un électron est capable d'exciter un atome c'est à dire transformer cet atome en ion positif, cette réaction s'écrit :



Cette interaction dépend de la vitesse de l'électron incident, du volume et de la nature de la cible.

D'une autre manière l'atome neutre peut être excité par l'absorption d'un photon [3,7].

Dans ce cas la réaction s'écrit :



Avec :

h : Constante de Planck ($h = 6,62.10^{-34} \text{J.s}$),

ν : La fréquence (Hz),

$h\nu$: Energie du photon (J),

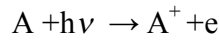
I-2-3-2. Ionisation :

L'existence d'une décharge électrique revient à l'existence des électrons libres à cause des mécanismes d'ionisations.

- ***Ionisation thermique*** : à une certaine température ambiante, l'énergie cinétique de translation n'est généralement pas suffisante pour ioniser la particule. Avec une élévation de la température et donc une agitation thermique croissante, on peut éventuellement aboutir à une ionisation [1].
- ***Ionisation par choc*** : les électrons libres dans un champ électrique peuvent ioniser une particule neutre. Cette ionisation du gaz n'est possible que si l'énergie de l'électron

incident est supérieure à l'énergie d'ionisation de la particule neutre [1].

- **Ionisation par photons** : un photon suffisamment énergétique peut exciter ou même ioniser une particule neutre suivant le principe :



$$h\nu \gg eV_i$$

V_i : tension d'ionisation.

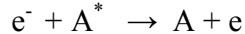
L'excédent d'énergie du photon par rapport au potentiel d'ionisation V_i de l'atome A, est alors fourni à l'électron libre sous forme d'énergie cinétique.

$$\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - eV_i \quad (I-4)$$

I-2-4. Phénomène de désexcitation et de dé-ionisation :

Lorsque l'électron d'un atome excité revient sur son orbite fondamentale, on a un processus de *désexcitation* ou désionisation qui se produit, donc ce phénomène tend à ramener les particules à leur état fondamental, à réduire la concentration des particules ionisées.

La réaction chimique s'écrit :



La désexcitation peut se produire aussi par un choc avec une particule, celle-ci bénéficie alors sous forme d'énergie cinétique de la perte d'énergie interne subie par l'atome (on parle de collision super élastique) [1].

I-2-5. Recombinaison et attachement:

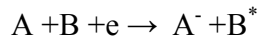
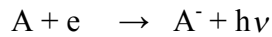
Ces processus conduisent à la diminution du nombre d'électrons libres dans un gaz ionisé et peuvent être de deux types:

I-2-5-1. Attachement :

L'attachement consiste en la fixation d'un électron par une molécule ou un atome neutre, d'où formation d'un ion négatif, ce phénomène est d'autant plus important dans le cas des halogènes, et aussi de l'oxygène.

L'excédent de l'énergie fournie par l'électron incident, peut se retrouver, soit sous la forme d'une émission radiative dans le cas d'une collision entre deux corps, soit sous la forme d'une fourniture d'énergie cinétique à une troisième particule dans le cas d'une collision à trois corps.

Ce processus est décrit respectivement par les relations suivantes [1] :



I-2-5-2. Recombinaison:

On considère deux types de recombinaisons :

- **Recombinaison entre ions** : on appelle ainsi les réactions par lesquelles deux particules possédant des charges de signes différents échangent ces charges pour revenir à l'état neutre. Ces réactions d'ionisation, libèrent une certaine énergie soit sous forme de photons ou sous forme d'énergie cinétique cédée à une molécule de gaz voisine. La recombinaison dans l'effet couronne se produit dans les régions de champ électrique faible (particules moins énergétiques). Pour décrire ce phénomène de recombinaison on introduit un coefficient de recombinaison a (m^3/s), soit alors :

n^+ : le nombre de charges positives par m^3

n^- : le nombre de charges négatives par m^3

Le taux de décroissance des charges s'exprime par la relation [3] :

$$\frac{dn^+}{dt} = \frac{dn^-}{dt} = -an^+n^- \quad (I-5)$$

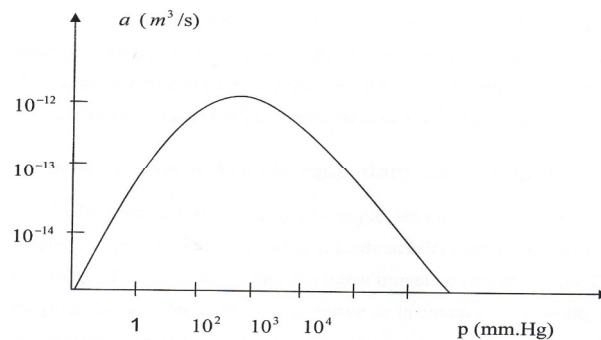


Figure I-1 : Coefficient de recombinaison ion- ion en fonction de la pression [3]

- **Recombinaison ion avec électron** : lorsque un électron se recombine avec un ion positif pour redonner un atome neutre, la réaction libère une énergie égale à l'énergie d'ionisation, sous forme d'un photon. Si l'électron incident possède une énergie cinétique E_c , l'énergie du photon créé aura pour valeur :

$$h\nu = E_c + eV_i$$

Le spectre émis est continu, limite vers les basses fréquences, pour $E_c=0$, les photons émis peuvent à leur tour ioniser le gaz à une certaine distance, ce qui expliquerait le développement des streamers, ce sont essentiellement des photons ultraviolets. Cependant en ce qui concerne l'effet couronne, cette réaction joue un rôle très secondaire dans la disparition des électrons libres [3].

I-2-6. Attachement électronique :

Le phénomène d'attachement électronique est souvent important dans les gaz électronégatifs ou dans des zones à faible champ et peut modifier le comportement de la décharge.

Il existe une certaine analogie dans la formulation mathématique de ce phénomène avec l'ionisation par le processus α .

On définit ainsi un coefficient d'attachement η et un coefficient d'ionisation effectif $(\alpha - \eta)$.

Le coefficient d'attachement représente le nombre d'ions négatifs formés par un électron par unité de parcours dans la direction du champ [9].

η : Ce coefficient est générateur d'ions négatifs ayant une masse importante et dont la mobilité est autrement réduite.

I-2-7. Mobilité :

Lorsque on place une particule chargée dans un champ électrique, elle s'accélère, dans un gaz. Cette particule chargée perd son énergie qu'elle a gagné lors de sa collision avec les molécules du gaz, la vitesse moyenne parcourue le long des lignes de champ s'appelle la vitesse dérivée U [5].

On définit la mobilité μ :

$$\mu = \frac{U}{E} \quad (I-6)$$

U : vitesse de dérivée.

E : champ appliqué.

Si les particules chargées ont une énergie comparable à celle fournie par l'agitation thermique aux molécules neutres on a :

$$U = \frac{e\lambda}{mw} E \quad (I-7)$$

w : la vitesse de l'agitation thermique.

λ : Libre parcouru.

$$\mu = \frac{e\lambda}{mw} \quad (\text{I-8})$$

Donc à une température donnée, le terme e/mw est constant et il apparaît que U est fonction de la quantité λE qui représente l'énergie sous l'effet du champ électrique appliqué [1]. La mobilité des ions est variable suivant la nature des particules considérées, mais elle est toujours beaucoup plus faible que celle des électrons. La formation d'un courant à l'intérieur d'une décharge dépend de l'existence des particules chargées et de leur mobilité.

I-2-8. Diffusion :

Le processus de *diffusion* se manifeste lorsqu'il existe une différence de concentration des particules dans un gaz entre deux points voisins. Cette différence provoque un déplacement des particules des régions basse concentration, ce processus de diffusion tend donc à établir un équilibre thermodynamique dans lequel les particules sont distribuées de façon homogène [1].

Le coefficient de diffusion D est tel que :

$$\tau = -D \frac{dn}{dx} \quad (\text{I-9})$$

Γ : Flux des particules par seconde et par m^2 dans la direction x

La diffusion des électrons est supérieure à celle des ions.

La diffusion ambipolaire (ions et électrons) est une diffusion freinée par la séparation des charges [5] :

$$\tau^+ = \tau^- = -D \frac{dn^+}{dx} = -D \frac{dn^-}{dx} \quad (\text{I-10})$$

I-3. Décharges électriques dans le gaz :

Une décharge électrique suppose toujours l'existence de charges libres et d'un champ électrique qui peut être continu ou alternatif uniforme ou non, cette décharges est visible à l'œil, est interprétée à base de deux modèles :

Le premier concerne les décharges à long rayon d'action faisant intervenir l'intervalle de décharge tout entier et notamment les effets secondaires à la cathode c'est *la décharge de Townsend* [4].

Le second modèle mis au point pour expliquer la rapidité des phénomènes, concerne les décharges à court rayon d'action faisant intervenir la situation locale, c'est la décharge *par streamers*.

I-3-1. Caractéristiques d'une décharge électrique dans les gaz :

Les décharges électriques peuvent être produites dans le volume du gaz ou à la surface des électrodes à l'aide d'un agent ionisant extérieur (rayonnement ultraviolet, radioactif ou chaleur...), cette décharge est dite *autonome*. Par contre si cette décharge est créée à cause d'une application d'un agent extérieur, par exemple on bombardant la surface cathodique pour extraire des électrons, cette décharge est dite *non autonome*.

On considère dans le cas d'un champ uniforme, soit un tube de décharge muni d'électrodes à ses deux extrémités et rempli d'un gaz auquel est appliquée à travers une résistance R variable, une différence de potentiel V [5].

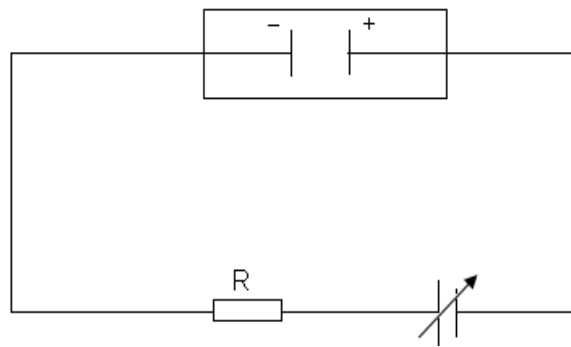


Figure I-2 : Le dispositif expérimental

En augmentant la tension appliquée aux deux électrodes, on relève la caractéristique $V = f(I)$

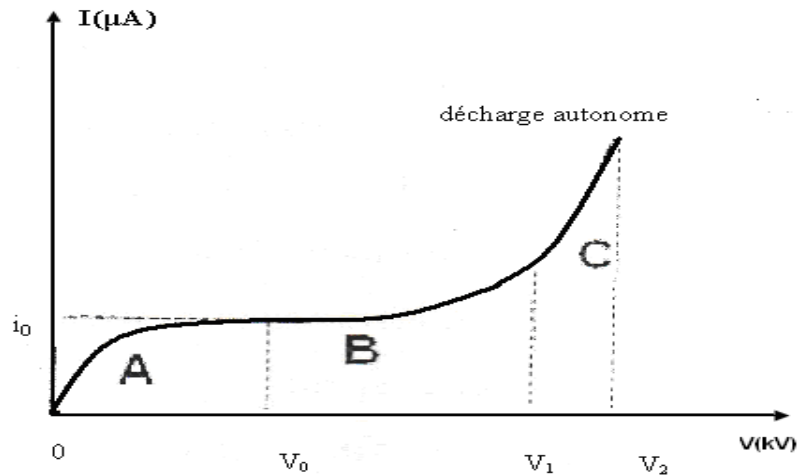


Figure I-3 : Courant collecté aux électrodes en fonction du champ (homogène) [7]

A $V = 0$, avant l'application du champ E , les électrons extraits de la cathode par l'agent ionisant s'accumulent dans l'intervalle inter électrodes.

A : collection des électrons libres sans multiplication (I proportionnel à V)

B : saturation du courant collecté : tous les électrons créés par l'agent ionisant extérieur sont captés par la l'anode.

C : développement d'avalanches, correspondant à la multiplication des charges libres dans le gaz.

Cette multiplication est due à l'ionisation du gaz par les électrons primaires, ce qui déclenche une avalanche électronique, qui entraîne un accroissement rapide du courant.

Le courant est limité par la résistance du circuit extérieur [7].

I-3-2. Décharge non autonome :

L'irradiation de la cathode par un agent ionisation extérieur, extrait des électrons qui seront accélérés sous l'action du champ électrique avec une énergie suffisante pour ioniser sur leur parcours des molécules neutres, des ions et des atomes.

Les électrons créés par cette ionisation seront aussi accélérés et causeront, comme précédemment sous l'action du champ électrique d'autres ionisations.

On observe ainsi un processus d'avalanche électronique, ce phénomène est caractérisé par un coefficient α qui représente le nombre moyen de paires ions-électrons (ou le nombre moyen de chocs ionisants) qu'un électron effectue par unité de longueur dans la direction du champ électrique

On l'appelle *premier coefficient* de Townsend ou coefficient d'ionisation en volume.

Le nombre d'électrons qui arrivent à l'anode en parcourant la distance d est :

$$N_d = N_0 \exp(\alpha d)$$

De même, le courant résultant est :

$$i_d = i_0 \exp(\alpha d)$$

Avec n_d , i_0 respectivement le nombre d'électrons et le courant résultant crée par l'agent ionisant extérieur.

Si on arrête l'action de l'agent extérieur, alors le courant de décharge s'annule ($i_d = 0$), la décharge est dite dans ce cas non autonome.

Le coefficient α ne dépend que de la densité du gaz et de l'énergie des électrons c'est-à-dire de l'intensité du champ électrique. Il peut être évalué par la relation suivante :

$$\frac{\alpha}{p} = F \left(\frac{E}{p} \right) = A \exp \left(\frac{-Bp}{E} \right) \quad (I-11)$$

A et B sont des constantes empiriques qui dépendent de la nature du gaz, de la température et des paramètres géométriques des électrodes [9].

I-3-3. Décharge autonome à faible pression (décharge de Townsend):

I-3-3-1. Décharge de Townsend :

L'augmentation de la tension provoque la croissance très rapide du courant au voisinage d'une tension V_c . La décharge de Townsend est basée sur la multiplication électronique par ionisation du gaz. Cette multiplication peut s'étudier à partir de la connaissance du premier coefficient d'ionisation de Townsend α .

α : nombre d'électrons (ou d'ions positif) crée par un électron par élément de longueur qui dépend de :

- la nature du gaz,
- la pression p du gaz,
- l'intensité du champ électrique E ,
- l'énergie des électrons.

Lorsque la tension V_c atteint son niveau d'amorçage, il apparaît dans le gaz d'autres effets dits secondaires :

- 1 Les ions positifs engendrés par ionisation du gaz et attirés par la cathode provoquent de nouvelles ionisations dans le gaz (Effet β),
- 2 Ces ions positifs, en tombant sur la cathode, si leur énergie est suffisante, en expulsent des électrons secondaires (Effet γ),
- 3 Les photons émis lors des recombinaisons ion-électron peuvent extraire des électrons secondaires de la cathode (Effet δ),
- 4 Les photons émis lors de la désexcitation de certains atomes de gaz portés à un niveau métastable à la suite d'un choc, peuvent extraire aussi des électrons de la cathode (Effet ε),

De tous ces phénomènes qui engendrent des électrons secondaires pouvant remplacer ceux produits par l'agent ionisant extérieur, l'effet γ est prépondérant. C'est par cette émission électronique secondaires γ que Townsend explique l'établissement de la décharge autonome.

I-3-3-2. Critère de décharge de Townsend :

A l'application d'un champ électrique entre électrodes de distance d , on peut calculer le nombre d'électrons et donc le courant produit par l'avalanche électronique.

Soit :

N_I : le nombre total d'électrons arrachés de la cathode en une seconde.

$$N_I = N_0 + N_S \quad (\text{I-12})$$

N_0 : nombre d'électrons arrachés par l'agent ionisant extérieur

N_S : nombre d'électrons arrachés par l'émission secondaire.

Le nombre d'électrons arrivant sur l'anode sera :

$$N_d = N_I \exp(\alpha d) \quad (\text{I-13})$$

Donc le nombre d'électrons nouvellement formés dans l'avalanche est :

$$N_d - N_I = N_I [\exp(\alpha d) - 1] \quad (\text{I-14})$$

Le nombre d'ions positifs produits dans l'avalanche sera le même :

D'où

$$N_S = \gamma N_I [\exp(\alpha d) - 1] \quad (\text{I-15})$$

γ : est appelé *coefficient d'ionisation en surface* ou 2^{ème} coefficient de Townsend. Il représente le nombre moyen d'électrons arrachés à la cathode par un ion positif incident.

Le nombre total d'électrons émis par la cathode est alors :

$$N_1 = N_0 + \gamma N_1 [\exp(\alpha d) - 1] \quad (\text{I-16})$$

$$N_1 = \frac{N_0}{1 - \gamma [\exp(\alpha d) - 1]} \quad (\text{I-17})$$

On obtient finalement la relation donnant le nombre d'électrons tombant sur l'anode en une seconde :

$$N_1 = \frac{N_0 \exp(\alpha d)}{1 - \gamma [\exp(\alpha d) - 1]} \quad (\text{I-18})$$

Et le courant i_d peut s'écrire :

$$i_d = \frac{i_0 \exp(\alpha d)}{1 - \gamma [\exp(\alpha d) - 1]} \quad (\text{I-19})$$

Le critère de Townsend ainsi donné peut s'interpréter simplement en considérant que $e^{\alpha d}$ représente le nombre d'ions positifs créés par une avalanche primaire à partir d'un seul électron, ces ions arrivant sur la cathode vont produire en moyenne $\gamma e^{\alpha d}$ électrons secondaires [6].

- Si $\gamma e^{\alpha d} < 1$: la décharge est dite *non autonome* car elle ne peut se maintenir d'elle-même par le fait des mécanismes secondaires si l'apport d'électrons créés par une source extérieure est interrompu,
- Si $\gamma e^{\alpha d} = 1$: le nombre d'ions créés par l'avalanche primaire est un moyen juste suffisant à maintenir par bombardement de la cathode l'avalanche électronique. La décharge *est autonome*, c'est à dire qu'elle peut se maintenir en l'absence d'une source extérieure de production des charges, ce critère définit donc la *tension d'amorçage*,
- Si $\gamma e^{\alpha d} > 1$: le processus des avalanches successives est cumulatif et le courant de décharge croît d'autant plus rapidement que $e^{\alpha d}$ dépasse l'unité [2].

Dans les zones à faible champ électrique, les électrons libres peuvent s'attacher des molécules neutres du gaz pour former des ions négatifs, ce mécanisme est exprimé par le coefficient d'attachement η .

En fait α' est le *coefficient apparent* qui résulte de deux mécanismes contradictoires : la multiplication par collision ionisantes et l'attachement [8].

On a donc en réalité : $\alpha' = \alpha - \eta$

$$i = \frac{i_0 \exp(\alpha - \eta)d}{1 - \gamma [\exp(\alpha - \eta)d - 1]} = i_0 \frac{\exp \alpha' d}{1 - \gamma [\exp(\alpha' d) - 1]} \quad (\text{I-20})$$

On définit R coefficient de multiplication électronique :

$$R = \frac{n}{n_0} = \frac{i}{i_0} = \frac{\exp(\alpha - \eta)d}{1 - \gamma[\exp(\alpha - \eta)d - 1]} = \frac{\exp(\alpha'd)}{1 - \gamma[\exp(\alpha'd) - 1]} \quad (I-21)$$

L'évolution du coefficient R dépend fortement de la valeur de : $\gamma [\exp(\alpha'd) - 1]$ qui définit le critère de la décharge *auto entretenue*.

Lorsque le champ appliqué n'est pas uniforme, le coefficient de α n'est pas constant et le critère d'auto entretien s'exprime dans ce cas par la relation suivante [4].

$$M = \gamma \int_0^d \alpha \exp\left[\int_0^x (\alpha - \eta) dx\right] dx \quad (I-22)$$

I-3-3-3. Effet de la charge d'espace :

La différence de mobilité des charges dans une avalanche électronique contribue à la formation des charges d'espace qui peuvent par le champ électrique qu'elles créent ces charges d'espace provoquer la perturbation de champ électrique appliquée dans l'espace inter électrodes en induisant d'autre type de décharge et créent un champ électrique radial E_r .

$$E_r = 5,25 * 10^{-7} \frac{\alpha \exp(\alpha d)}{\sqrt{\frac{x}{p}}} \text{ (V/cm)} \quad (I-23)$$

x : représente la distance parcourue par l'avalanche.

p : la probabilité de particule.

Le facteur α varie alors en fonction de x et dans ce cas, le critère de Townsend s'écrit sous une forme plus générale [5, 8, 9] :

$$\gamma \exp\left(\int_0^d \alpha dx - 1\right) = 1 \quad (I-24)$$

I-3-3-4. Temps d'établissement de la décharge de Townsend :

$$t = t_s + t_f \quad (I-25)$$

t_s : temps statistique.

Le temps qui s'écoule entre l'application de la tension et l'apparition du premier électron libre essentiellement aléatoire. Sa moyenne est appelée *temps statistique*.

t_f : temps de formation.

C'est le temps qui s'écoule entre l'instant d'apparition du premier électron et l'établissement de la

décharge autonome, il est de l'ordre de 10^{-4} à 10^{-5} s

I-3-3-5. Limites du critère de Townsend :

La théorie de Townsend ne peut expliquer complètement la décharge par étincelle ou par un arc. En effet, Raether, Meek et Loeb ont remis en cause cette théorie après avoir fait les observations suivantes :

- 1 Certains résultats expriment ou montrent que la tension de claquage dans l'air à quelques atmosphères de pression ne varie pas beaucoup avec la nature de la cathode,
- 2 Le courant de décharge pour des surtensions importantes atteint des valeurs notables avant même que la première avalanche ne soit écroulée (avant que les ions de cette avalanche atteignent la cathode pour en extraire les électrons secondaires),
- 3 La décharge n'est plus diffuse, comme celle de Townsend, mais concentrée en un canal étroit avec des ramifications et des changements de direction (étincelle)

Si pour qu'un ion se déplace de l'anode jusqu'à la cathode, il lui faut 10^{-4} à 10^{-5} s, l'expérience a montré que le temps de formation d'étincelle est au moins de 10^{-7} s, donc l'émission secondaire (due aux ions positifs) ne peut expliquer la décharge par étincelle.

L'explication de la grande vitesse avec laquelle se développe l'étincelle est donnée par la théorie des streamers (ou théorie des canaux) qui est actuellement bien justifiée par des données expérimentales.

I-3-3-6. Tension d'amorçage en champ homogène (loi de Paschen) :

Le critère d'amorçage d'une décharge autonome correspond à tous les cas d'amorçage de décharge disruptive dans les phénomènes de la haute tension. A partir du critère de rupture diélectrique proposé ci-dessous

$$\gamma[\exp(\alpha d) - 1] = 1. \quad (\text{I- 26})$$

Paschen établit la relation liant la tension disruptive dans le gaz en fonction du type de gaz, de la géométrie et des conditions atmosphériques.

La figure (I-4) représente la courbe de Paschen

Figure I-4 : Courbe de Paschen [5].

Cette loi s'explique comme suit :

- Aux basses pressions (a) : Etant donné le nombre limité de molécules présents, la probabilité de collision est faible, par conséquent le développement d'une avalanche est difficile et la tension d'amorçage est élevée,
- Aux grandes pressions (c) : Aux pressions élevées, la densité moléculaire fait que le libre parcours moyen des particules ionisantes n'est plus suffisant pour déclencher facilement le phénomène d'avalanche d'où une tension de claquage élevée,
- Aux moyennes pressions (b) : Entre les deux, c'est à dire aux pressions moyennes la tension de claquage V_C passe par un optimum appelé le minimum de Paschen.

La droite du minimum, la tension de claquage croît presque linéairement en fonction de (pd) ,

Aux grandes valeurs de p , cette proportionnalité n'est plus respectée. L'expérience a montré que pour $pd \gg 100 \text{ cm.mm Hg}$, la loi de Paschen perd sa validité. On explique ceci par le champ électrique créé par les charges d'espace qui va se superposer au champ uniforme principal. Qui par conséquent son homogénéité (n'est plus homogène) dans le volume inter-électrodes les mécanismes intervenant dans ces cas seront expliqués par la théorie des Streamers.

I-3-4. Décharges autonomes à pressions élevées $P \geq 1 \text{ atm}$, (Théorie des Streamers) :

Dans un champ électrique suffisant pour créer l'amorçage, la vitesse des électrons est environ 100 fois supérieure à celle des ions positifs. Si bien que l'avalanche se développe comme un nuage d'électrons vers l'anode, laissant derrière elle des ions positifs quasi stationnaires qui se dirige vers la cathode.

Ce phénomène de Streamers est caractérisé par un temps de retard de l'ordre de 10^{-8} s , alors que la décharge de Townsend nécessite des temps de 10^{-5} s pour entraîner un claquage [1,2].

Lorsque la photo ionisation dans la charge d'espace est assez importante dans la première avalanche près de la cathode, ces photoélectrons amorçant des avalanches secondaires près de l'anode en créant une charge d'espace positive qui rejoint rapidement la cathode, à ce moment une avalanche d'électrons vient neutraliser la charge positive et provoque la formation d'un arc [2].

L'arc se distingue de la décharge de Townsend par le fait que :

- La densité de courant d'arc est très élevée ($0,1 \text{ à } 100 \text{ KA/cm}^2$),
- Le courant d'arc est principalement dû aux électrons issus de la cathode et non pas ceux résultant de l'ionisation du gaz (ce qui explique le point précédent),
- La tension d'arc n'est que de quelques dizaines de volts.

Des critères ont été proposés par Meek et Reather pour estimer le champ électrique permettant la transformation d'une avalanche en Streamers.

- **Critère de Meek :**

L'avalanche peut se transformer en Streamers si le champ de charge d'espace E_c des ions positifs est sensiblement égal au champ appliqué E_g .

$$E_c = K E_g \quad (\text{I-27})$$

Si $K \approx 1$, on aura $E_c \approx E_g$

- **Critère de Reather :**

Reather a établi un critère simple basé sur le fait que l'avalanche doit atteindre une taille critique pour que le streamers puisse se développer. Il s'écrit simplement comme suit :

$$\int_0^{x_c} (\alpha - \eta) dx = \ln n_c \quad (\text{I-28})$$

x_c : représente la distance critique.

n_c : le nombre critique d'électrons de l'ordre de 10^8 .

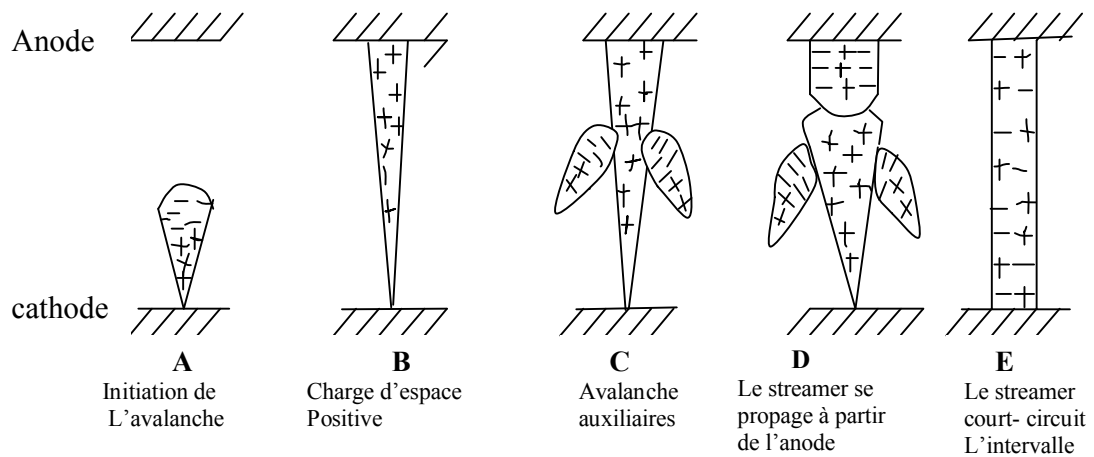


Figure I-5: Formation d'un streamer dans un gaz (champ uniforme) [5]

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons essayé de donner un aperçu global sur les principales notions de décharge électrique dans les gaz pour mieux border au chapitre qui va suivre les phénomènes liés à la décharge de type couronne.

II-1. Introduction :

Une décharge couronne est une décharge électrique qui désigne l'ensemble des phénomènes liés à l'apparition d'une conductivité d'un gaz, entraînée par l'ionisation du milieu. Elle se produit lorsque le potentiel électrique dépasse une valeur critique, mais que les conditions ne permettent pas la formation d'un arc. Cette décharge est liée à l'apparition d'avalanche électronique qui se développe entre deux électrodes fortement asymétriques portées à un haut potentiel et séparées par des intervalles gazeux soumis à un champ électrique, d'une part fortement inhomogène, du fait de la configuration géométrique du système d'électrodes (pointe-plan, fil-plan, plan-plan, couteau-cylindre, etc....).

La décharge couronne a une gamme pratique de pression allant de quelques torrs à quelques atmosphères.

L'étude de ce phénomène est basée expérimentalement sur la configuration plan-plan sous tension continue, cependant la bonne compréhension agissant dans cette configuration permet la maîtrise des phénomènes apparaissant dans les autres géométries d'électrodes (point-plan).

Dans ce chapitre on fait une étude pour quelques rappels sur la décharge et les facteurs influents sur cette dernière.

II-2. L'amorçage dans une structure à champ divergent :

Dans la plupart des systèmes utilisés en haute tension, le champ électrique est loin d'être uniforme : généralement, il est maximum au voisinage de l'électrode sous tension et diminue vers les parties à la masse. C'est le cas des structures tige-plan, conducteur-sol, etc

L'amorçage de tels intervalles d'air obéissent à des mécanismes très différents de ceux que l'on rencontre en champ uniforme. Il suit un processus qui se propage dans l'air relativement lentement et prend naissance sur l'électrode présentant la plus grande courbure. Le champ électrique est toujours légèrement non uniforme, quelles que soient les précautions prises. Pour caractériser la plus ou moins grande importance de cette inhomogénéité, on introduit une grandeur appelée : Facteur d'utilisation du champ défini comme étant le rapport du champ moyen dans l'espace inter-électrodes au champ maximal c'est-à-dire le champ sur l'électrode de plus faible rayon de courbure.

$$U_c = \frac{V}{dE_{\max}} \quad (\text{II-1})$$

$E_{\max}$: est le champ maximal dans l'intervalle.

Lorsque le champ est suffisamment hétérogène, une décharge couronne apparaît.

Par convention, on appelle situation à champ non homogène, les configurations pour les quelles, sous certaines conditions de pression, un effet couronne est susceptible d'apparaître. En revanche, les situations pour les quelles le claquage apparaît directement sans effet couronne sont appelées configurations à champ quasi homogène qui dépendent non seulement de U_C mais aussi de la nature du gaz isolant [6]

II-3. Distribution du champ électrique sur un système plan- plan et pointe-plan:

La distribution du champ électrique dans l'espace inter- électrodes dépend de la configuration utilisée. La géométrie des électrodes joue un rôle primordial dans l'analyse de la décharge.

➤ **Système plan- plan :** dans un système électrodes planes idéales, la limite du champ électrique est donnée par la relation [8] :

$$E = \frac{V}{d} \quad (\text{II-2})$$

V : tension appliquée (kV)

d : la distance inter-électrodes(m.

Dans un système pratique le champ est très important au niveau des bords des électrodes, pour éviter cette intensité du champ on utilise des électrodes à bords arrondis et de $\frac{D_e}{d} \geq 5$ pour que

$$E = \frac{V}{d} \text{ Cte}$$

D_e : diamètre des électrodes

➤ **Système pointe- plan :** dans le système pointe-plan, la distribution du champ le long de l'axe passant par la pointe diminue très rapidement avec la distance suivant la relation [8, 9] :

$$E(x) = \frac{V}{(x + \frac{r}{2}) \ln(\frac{2d+r}{r})} \quad (\text{II-3})$$

V : tension appliquée (V).

r : rayon de la courbure de la pointe (m).

d : distance inter-électrodes (m).

x : la distance à la pointe (m).

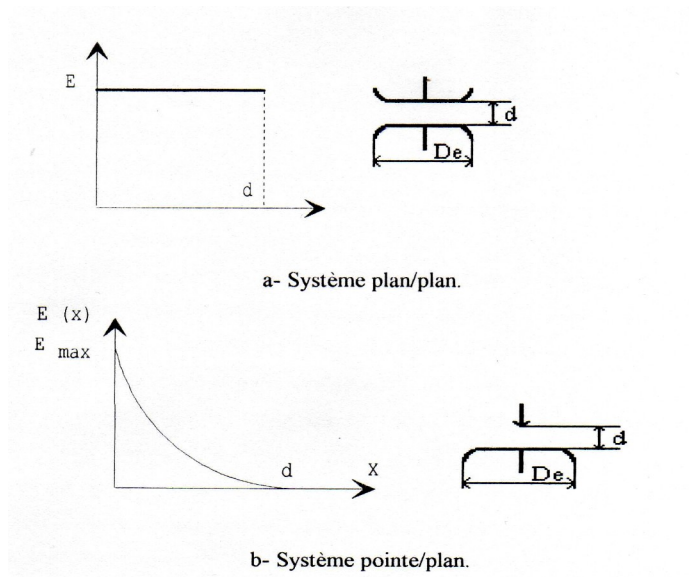


Figure II-1 : Distribution du champ électrique dans l'espace inter-électrodes pour différentes configurations [9]

II –4. Topographie de la décharge couronne :

La décharge couronne est une décharge électrique qui peut être considérée comme la superposition de deux régimes, un régime de Townsend et un régime de streamers.

Dans une configuration pointe-plan, le régime de Townsend se développe au voisinage de la pointe ou *électrode active*, région caractérisée par la présence d'un champ intense permettant l'ionisation du gaz. Cette zone d'ionisation existe toujours dans n'importe quelle décharge dans les gaz, on y rencontre les porteurs de charges des deux signes. Le second régime prend naissance à la fin de la première avalanche électronique dans tout l'espace inter-électrodes restant. Dans cette zone, l'attachement électronique domine le processus de multiplication en raison du faible champ qui y règne. Cette zone est caractérisée par des porteurs de charge de même signe que l'électrode active, dérivant vers l'électrode plane dite *passive* qui les collecte.

La *région de dérive* ionique est spécifique à la décharge couronne. Elle joue le rôle d'une impédance en série avec la zone d'ionisation et confère aux décharges leur stabilité, caractéristique intrinsèque.

Dans le cas d'une décharge négative, la multiplication électronique est stoppée par l'interface entre les deux régions caractérisée par l'équipotentielle satisfaisant la condition :

$$\alpha' = \alpha - \eta = 0$$

Mais cette équipotentielle devient au contraire l'origine de la multiplication électronique en décharge positive [4].

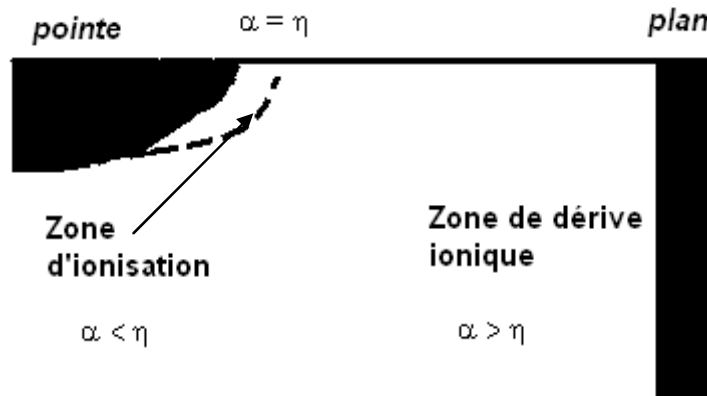


Figure II- 2 : Topographie d'une décharge couronne [4]

II -5. Caractéristique courant- tension :

La caractérisation courant-tension de la décharge couronne est obtenue en faisant croître la tension appliquée à l'intervalle gazeux. Différents régimes de décharge sont alors parcourus.

- Le premier régime (I) consiste en la collecte des espèces chargées présentes naturellement dans le milieu. Ces espèces sont produites par l'impact de rayons cosmiques ou de particules issues de la désintégration spontanée de certains atomes (radioactivité naturelle) sur le gaz présent dans l'espace inter-électrodes.
- Le second régime (II), qui se produit à partir d'une tension seuil V_0 , traduit le déclenchement de l'avalanche électronique de Townsend mais ne répond pas encore au critère d'auto- entretien de la décharge. La décharge est qualifiée de non- autonome car elle dépend du processus d'ionisation externe pour donner naissance aux électrons germes. Pour ce régime, le courant augmente très fortement pour une très faible variation de la tension appliquée.
- Pour le troisième régime (III), l'ionisation du gaz par la décharge est suffisante pour ne plus nécessiter de phénomène d'ionisation extérieure : la décharge est auto- entretenue. C'est le régime de la décharge couronne, ou apparaissant les dards (aussi appelés streamers) responsables de la composante impulsionnelle du courant.
- Au- delà d'une tension appliquée V_r , la température du canal augmente fortement, ce qui provoque la dilatation brutale du gaz. Le champ E/N est alors suffisamment important pour que les phénomènes d'ionisation deviennent majoritaires par rapport à l'attachement électronique. Le régime d'arc (IV) est atteint.

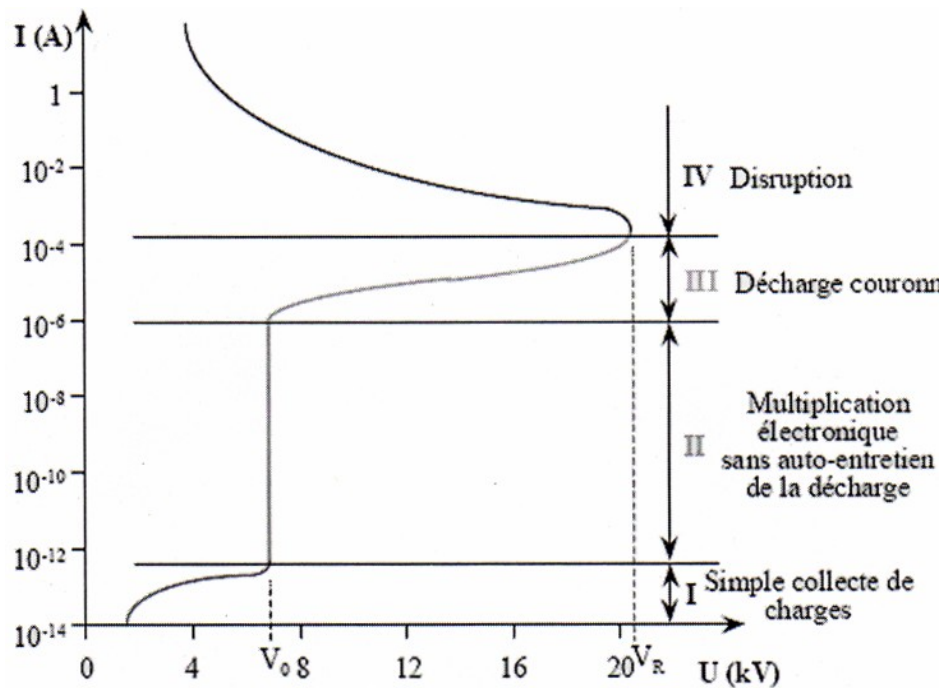


Figure II- 3 : Caractéristiques courant- tension
d'une décharge couronne [10]

II-6. Les facteurs influant sur la décharge couronne :

Le phénomène de la décharge qui apparaît dans un champ non uniforme, est fortement dépendant de la géométrie d'électrodes, de la pression du gaz, de la matière d'isolant, de la tension appliquée, du rayon de courbure, de la température et de la polarité de la pointe.

II-6-1. Influence de la polarité sur le processus de développement de la décharge couronne :

Une décharge couronne peut être *positive* ou *négative* selon la polarité de l'électrode de faible rayon de courbure. Si elle est positive, on parle d'une décharge positive, sinon, d'une décharge négative. Du fait de la différence de masse entre les électrons (négatifs) et les ions (positifs), la physique de ces deux types de décharge couronne est radicalement différente. La décharge couronne négative se produit beaucoup plus qu'une décharge couronne positive.

Si la géométrie de l'électrode et la valeur du champ sont telles que la région ionisée s'étend au lieu de se stabiliser, le courant peut finir par trouver un chemin jusqu'à l'électrode inverse, il se forme alors des étincelles ou un arc électrique.

Les décharges couronnes, qu'elles soient positives ou négatives ont des mécanismes en commun [11] :

1. Un atome ou une molécule neutre du gaz environnant l'électrode est ionisée par un événement extérieur (par exemple par interaction avec un photon), un ion positif et un électron sont créés.
2. Ces deux particules étant de charge inverse, le champ électrique crée sur chacune d'elle une force électrique égale en norme mais de sens opposé et les sépare, empêchant leur recombinaison et leur apportant une énergie cinétique importante
3. L'électron étant de masse beaucoup plus faible que l'ion, il est fortement accéléré, et entre en collision avec des atomes neutres, ce qui tend à créer de nouvelles paires électrons/ions positifs, qui suivront le même processus. On parle d'avalanche.
4. Des ions ainsi créés sont attirés par la seconde électrode et permettent ainsi l'établissement d'un courant.

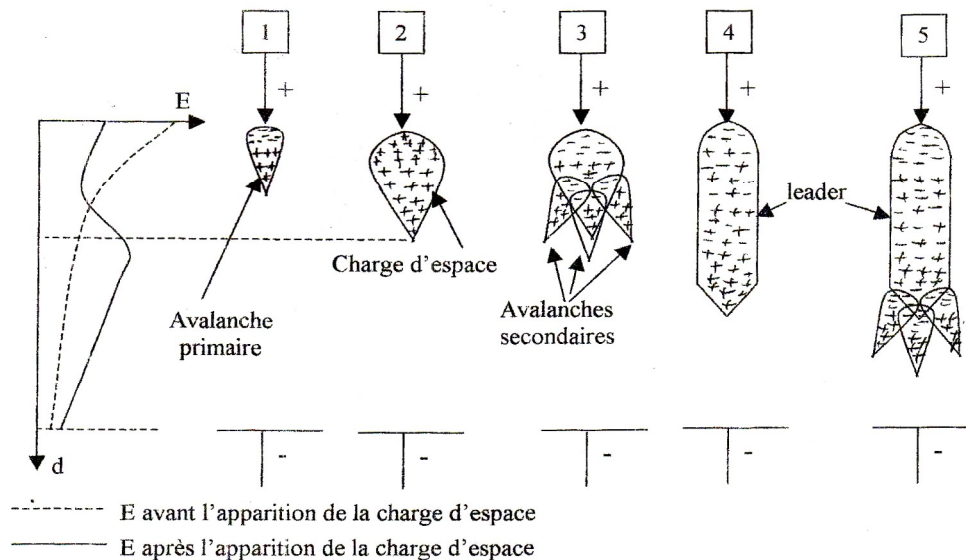


Figure II- 4 : Décharge couronne en polarité positive [8]

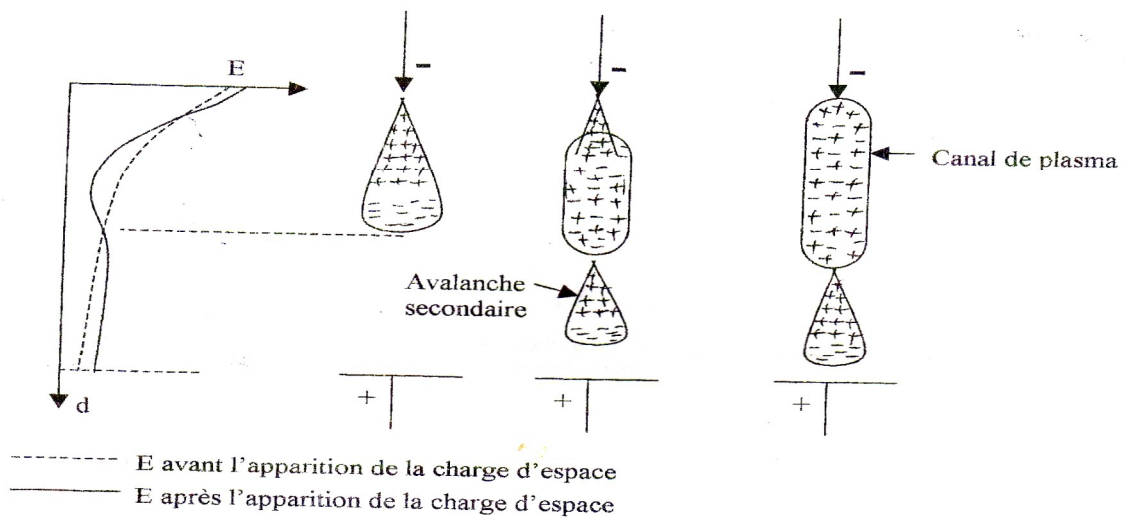


Figure II-5 : Décharge couronne en polarité négative [8]

II-6-2. Facteurs physico-chimiques du gaz :

- **Nature du gaz :** la valeur critique de la tension pour l'apparition de l'effet couronne diffère d'un gaz à un autre. Pour les gaz diatomiques, ils ont une rigidité diélectrique légèrement inférieure à celle de l'air, et pour les gaz électronégatifs ils ont une forte rigidité diélectrique. La plupart des composés homogènes, possèdent une section efficace d'ionisation très importante σ , donc une probabilité très importante de claquage.
- **Influence de la densité de l'air :** la tension de décharge U_d est proportionnelle à la densité de l'air δ [8] :

$$\text{Avec} \quad \delta = \frac{p}{p_0} \cdot \frac{273 + t_0}{273 + t} \quad (\text{II-4})$$

P_0 : pression atmosphérique ($p_0 = 760$ mmHg).

t_0 : température ambiante ($t_0 = 25^\circ\text{C}$).

- **Influence de l'humidité :** pour les systèmes d'électrodes à champ non uniforme, l'humidité a une grande influence sur la tension de décharge U_d .

Quand le taux d'humidité H augmente, la tension de décharge U_d augmente, en effet les molécules de vapeur d'eau s'attachent des électrons libres et freinant ainsi le développement de la décharge.

Des facteurs de correction doivent être appliqués :

- Soit pour convertir une tension mesurée dans des condition atmosphériques quelconques à la valeur qui aurait été obtenue sous les conditions atmosphérique de référence.
- Soit pour convertir une tension d'essai spécifiée pour les conditions de référence en sa valeur équivalente dans les conditions régnant au cours de l'essai [8] :

Le facteur de correction k_d tenant compte de la densité de l'air est donné par:

$$k_d = \left[\frac{p}{p_0} \right]^m \left[\frac{273 + t_0}{273 + t} \right]^n \quad (\text{II-5})$$

Le facteur de correction k_h tenant compte du taux d'humidité :

$$k_h = k^w$$

$$k_h^{-1} = \frac{1}{k_h} = [1 + (w - 11)0.012] \quad (\text{II-6})$$

w : l'humidité absolue de l'air étant égale à 11 g/m³.

Le constant k dépend de l'humidité absolue et les exposants m , n et w dépendent de la nature de la polarité de la tension ainsi que de la distance d'amorçage d .

Pour ramener la tension de décharge mesurée U_d à sa valeur dans les conditions atmosphériques normales, on utilise la relation suivante [8] :

$$U_{dn} = U_d \frac{k_h}{k_d} \quad (\text{II-7})$$

- **Influence de la température** : à la pression normale, lorsque la température augmente, la rigidité de l'air diminue donc on aura une décharge couronne, lorsque la température est assez élevée, elle cause la distorsion des électrodes donc la déformation du champ électrique [12].
- **Influence de la pression** : la pression est proportionnelle à la tension d'amorçage et inversement proportionnelle au courant.

II-6-3. Facteurs géométriques :

- **Influence de la forme des électrodes** : la forme géométrique des électrodes influe sur la distribution du champ électrique donc sur le comportement du streamers.

Si les électrodes sont des plans parallèles, le champ est homogène. Si son intensité est telle qu'un streamers prend naissance, son développement sera infini, jusqu'à la cathode [7].

La condition de claquage de l'intervalle se ramène à la condition du streamer comme le montre les figures (II-6) et (II-7).

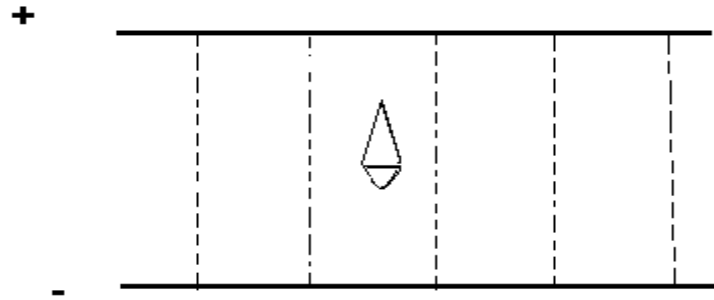


Figure II- 6 : Les lignes de champ sont parallèles et le champ est parfaitement homogène dans l'espace inter- électrode.[7]

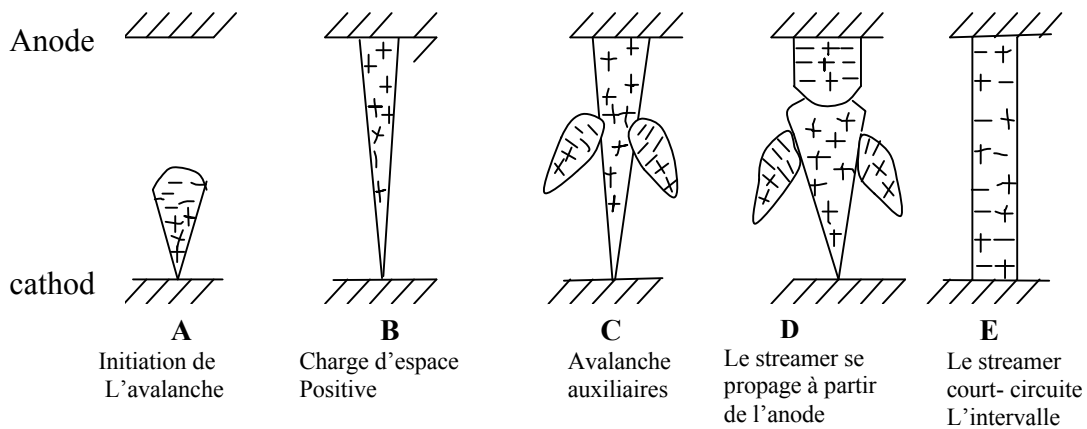


Figure II -7 : Formation d'un streamer dans une électrode plan- plan [5]

Dès qu'un streamer prend naissance il se propage jusqu'à l'anode.

Si les électrodes sont dissymétriques, par exemple une configuration pointe- plan, les avalanches se développeront préférentiellement dans la région de forte champ c'est -à- dire près de la pointe. Le streamer s'il prend naissance se propagera tant que le champ électrique total dans la région active permet de produire des avalanches secondaire comme les figures suivantes

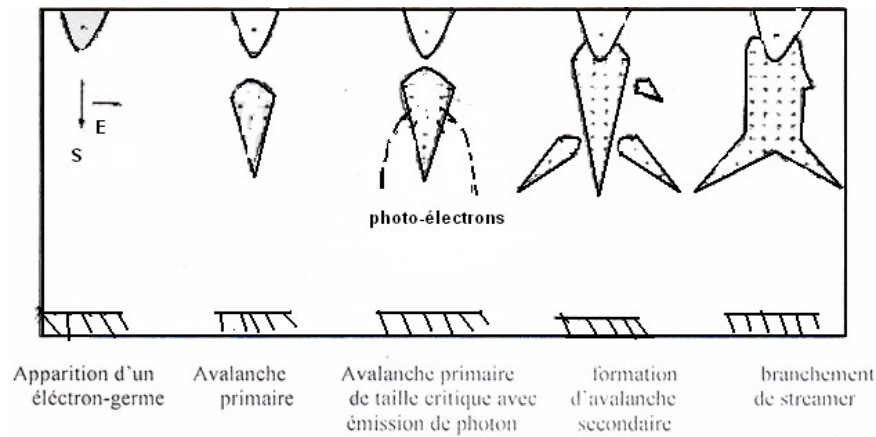


Figure II-8 : Formation d'un streamer dans un gaz (pointe- plan) [7]

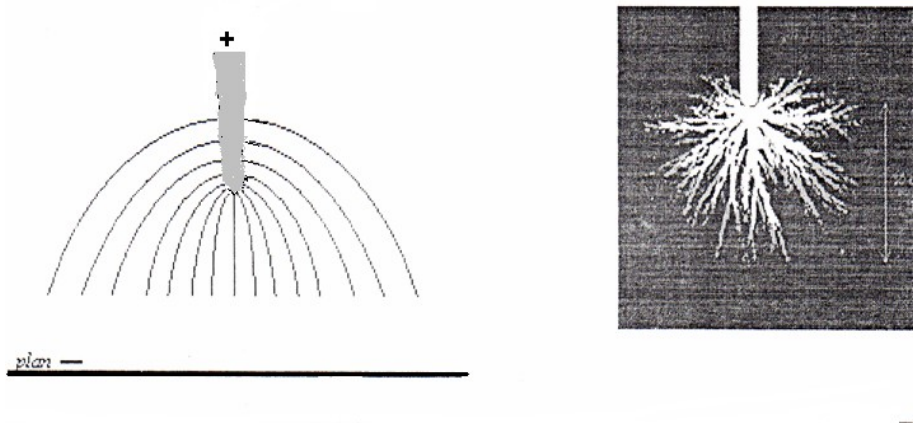


Figure II- 9 : Configuration pointe- plan [7]

A gauche de la figure II-9, les lignes du champ montrent la dissymétrie du champ électrique entre les électrodes. On observe la trace lumineuse des streamers formant une couronne. Ils se sont développés depuis la pointe en suivant approximativement les lignes de champ. Leur propagation stoppe dès que le champ électrique n'est plus suffisant.

Si la pointe est portée à une tension positive par rapport au plan, les avalanches se développent vers la pointe et le streamer, en sens inverse vers le plan.

Si la pointe est à un potentiel négatif, les avalanches s'éloignent de la pointe et les streamers aussi. Ce mécanisme de propagation du streamer est plus complexe et pas parfaitement expliqué. Le problème vient de la définition des parties "passive" et "active" du streamer [7].

- **Influence de l'état de surface** : l'état de surface des électrodes joue un grand rôle. La surface doit être lisse car les aspérités au niveau de la surface peuvent augmenter

localement le champ électrique et plus elle se dégrade plus les pertes augmentent. Supposons qu'il existe une sphère conductrice de très faible dimension à la surface d'une électrode. C'est le cas de surface non polies, le champ électrique sur la sphère prend une

valeur très élevée de $E \approx 3 \frac{U}{V}$ par rapport au électrodes planes, $E = \frac{V}{d}$ [8].

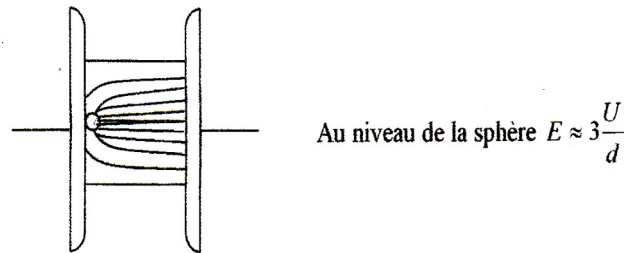


Figure II-10 : Champ électrique sur une particule conductrice sphérique à la surface d'une électrode [8]

- **Influence du rayon de la courbure de la pointe :** la figure (II-11) montre que les courbes obtenues en tension continue dans les deux polarités pour différents rayons de courbure de la pointe. Une augmentation du rayon de courbure a pour conséquence une augmentation de la tension d'apparition de l'effet couronne.

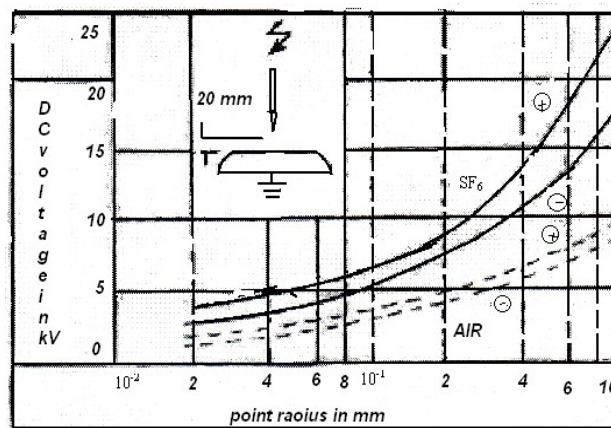


Figure II-11 : Influence du rayon de courbure [4]

- **La distance inter-électrodes :** l'influence de la distance inter- électrodes d sur les paramètres d'amorçage est montrée sur la figure (II-12) qui se rapporte au SF_6 gaz

largement utilisé en électrotechnique. Il en résulte à pression constante que le seuil d'amorçage de la décharge augmente avec la distance d .

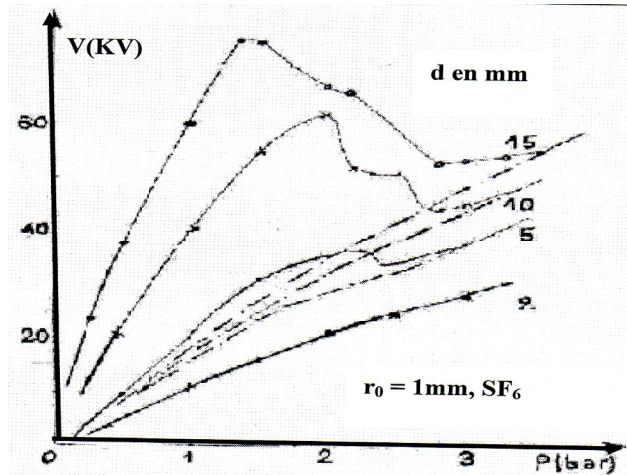


Figure II-12 : Effet de la distance inter- électrodes [4]

II-6- 4. Facteurs électriques :

L'effet couronne diffère selon qu'on applique à un système d'électrodes une tension continue ou alternative ou une rampe. On peut définir un niveau de tension qui correspond à l'apparition du première streamer, si on dépasse ce niveau du tension un streamer se développe entre les deux électrodes.

Les différentes modes d'émission de charge décrite en tension continue sont décrites en tension alternative, et en tension bi- exponentielle.

Les phénomènes d'ionisations, recombinaison et de diffusions sont les même mais sont intenses en tension alternative et bi- exponentielle qui dépend de la fréquence du réseau et de la crête de la sinusoïde du courant tandis qu'en continu l'émission de charge est permanente.

II – 7. Décharge couronne avec une barrière :

II -7-1. les barrières : les barrières sont des matériaux qui présentent une très grande résistance au passage du courant électrique et dont la conductibilité est pratiquement nulle.

Elles ont une structure moléculaire constituée d'atomes ayant plus de quatre électrons périphériques.

Ces électrons sont fortement retenus par des forces de liaison inter- atomique et ne peuvent pas devenir libres pour donner lieu à un courant électrique.

Les barrières isolantes sont utilisées pour isoler les conducteurs et les pièces sous tension afin d'empêcher les court circuits [7].

II – 7 -2. Les paramètres définissant la nature de la barrière :

Les barrières diélectriques dite écrans isolants, n'ont pas toutes les même performances du point de vue de l'augmentation de la tension disruptive d'un système d'isolement, cela est dû au fait que les paramètres définissant les propriétés isolantes d'un matériel varient d'un diélectrique à un autre. Parmi ces paramètres, on trouve [7] :

-La résistivité transversale : La résistivité transversale d'un matériau isolant est la résistance d'un élément de ce matériau, de 1cm^2 de section par 1cm de longueur. Elle s'exprime généralement en $\Omega\cdot\text{cm}$

$$\rho_t = \frac{St \cdot Rt}{d} \quad (\Omega\cdot\text{cm}) \quad (\text{II-8})$$

Cette résistivité détermine le courant de fuite à travers l'isolant.

Elle varie suivant le degré d'humidité de l'isolant et diminue fortement avec une élévation de la température. Une résistivité transversale faible, permet le passage d'un courant de fuite dangereux à travers l'isolant [7].

-La résistivité superficielle : Elle est définie comme étant la résistivité de la surface de l'isolant. Elle peut s'exprimer en (Ω) par unité de surface.

Elle dépend du degré d'humidité du milieu ambiant et de l'état de surface de l'isolant.

Cette résistivité détermine le courant de fuite à la surface de l'isolant.

-La résistance de l'isolement : La résistance d'isolement entre deux électrodes qui sont en contact avec un isolant est le rapport de la tension continue appliquée aux électrodes au courant global qui les traverse à un moment après l'application de cette tension [7].

-Constante diélectrique ou permittivité relative : L'efficacité d'un diélectrique se traduit par sa capacité à emmagasiner de l'énergie.

Elle s'exprime par son constant diélectrique, permittivité relative, déterminée par rapport à celle du vide. Pour les diélectriques d'usage courant, la valeur de cette constante sans unité varie entre 1 et plus d'un millier.

La permittivité n'est influencée par aucun paramètre qu'il soit physique ou chimique [7].

-La rigidité diélectrique : La rigidité diélectrique d'un matériau varie en fonction de Plusieurs grandeurs et dépend aussi de son utilisation.

Elle est caractérisée par la valeur maximale du champ E_c auquel peut être soumis un diélectrique sans apparition d'un claquage. On parle aussi de champ disruptif.

Elle est définie comme étant le rapport de la tension disruptive mesurée et de la distance inter électrode :

$$E_c = \frac{U_d}{d} \quad (\text{II- 9})$$

De nouveaux phénomènes sont susceptibles d'altérer un diélectrique au cours du temps (vieillessement), provoquant en particulier une diminution de la rigidité diélectrique, la pureté, le mode de mise en œuvre, la géométrie du diélectrique, l'épaisseur et le milieu environnant [13]

-Les pertes diélectriques : les isolants soumis à des champs électriques alternatifs sinusoïdaux sont le siège des pertes d'énergie active sous forme thermique due à la conduction du diélectrique, ainsi qu'au phénomène de relaxation.

-Relaxation : la relaxation est due au fait que, pour un isolant réel avec pertes, il existe un déphasage entre D et le champ électrique E qui fait, qu'en tension alternative, la polarisation par orientation des dipôles est plus difficile et entraîne des pertes d'énergie active d'où :

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (\text{As/m}^2) \quad (\text{II-10})$$

Ou :

ϵ : La permittivité complexe absolue du diélectrique, définie comme :

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r \quad (\text{As/m}) \quad (\text{II-11})$$

ϵ_r : Permittivité complexe relative du diélectrique.

II- 8. Influence de la barrière sur la décharge couronne :

L'emploi des barrières isolantes est considéré comme l'un des moyens les plus importants pour l'amélioration de la rigidité diélectrique et modifie la répartition du champ électrique d'un système inter- électrodes.

Lorsqu'ils sont placés correctement, les ions positifs créant la charge spatiale sont alors freinés par la barrière et se répartissent sur la surface.

Plusieurs paramètres influençant ces barrières, on doit tenir compte la polarité de la pointe, du type de la tension appliquée, de la position de la barrière ainsi que ces dimensions, de sa résistivité superficielle, de sa permittivité et de la nature de la matière qui compose ces barrières.

II – 9. La décharge électrique pour les grandes distances :

En tension bi- exponentielle, le développement de la décharge électrique se poursuit comme schématisé sur la figure (II-13). Ce schéma est construit d'après les photographies réalisées au convertisseur d'images, sorte d'appareil photo(sensible dans l'UV et le visible) et dont la focale de l'objectif balaye l'image observée sur le papier film donnant ainsi un développement spatio- temporel de la décharge.

Le générateur de Marx fournit une impulsion de tension appliquée aux électrodes. Sur le schéma une impulsion positive par rapport au plan est appliquée à la pointe. Pendant la croissance de la tension (dans le front de l'impulsion), dès que les conditions de façon quasi instantanée (développement de la couronne de l'ordre de $300 \ll$ au taux de croissance de la tension appliquée).

Le champ électrique continue de croître et d'autres couronnes peuvent se développer. Au lieu de la naissance de chacune des couronnes, une forte densité de courant augmente sensiblement la température localement faisant apparaître une espèce de tronc appelé stem et qui, physiquement, se comporte comme un petit canal conducteur. A chaque apparition de couronne, le nouveau stem créé se juxtapose au précédent, contribuant à l'allongement d'un canal chaud appelé canal de leader. Ce canal conducteur reporte la tension appliquée à la pointe, qui continue de croître, plus en aval dans l'intervalle.

Sur le schéma, seul le stem de chaque couronne est représenté au cours de l'allongement du leader car ce dernier est très faiblement lumineux.

Si le niveau de tension le permet, les couronnes du leader atteignent le plan, c'est le saut final. A cet instant, le canal du leader est parcouru par un courant plus intense (ré illumination du canal). Cependant le court-circuit de l'intervalle ne sera complètement réalisé que lorsque le canal du leader sera au contact du plan. A cet instant le générateur de Marx décharge quasi instantanément ses condensateurs, c'est la phase d'arc [7].

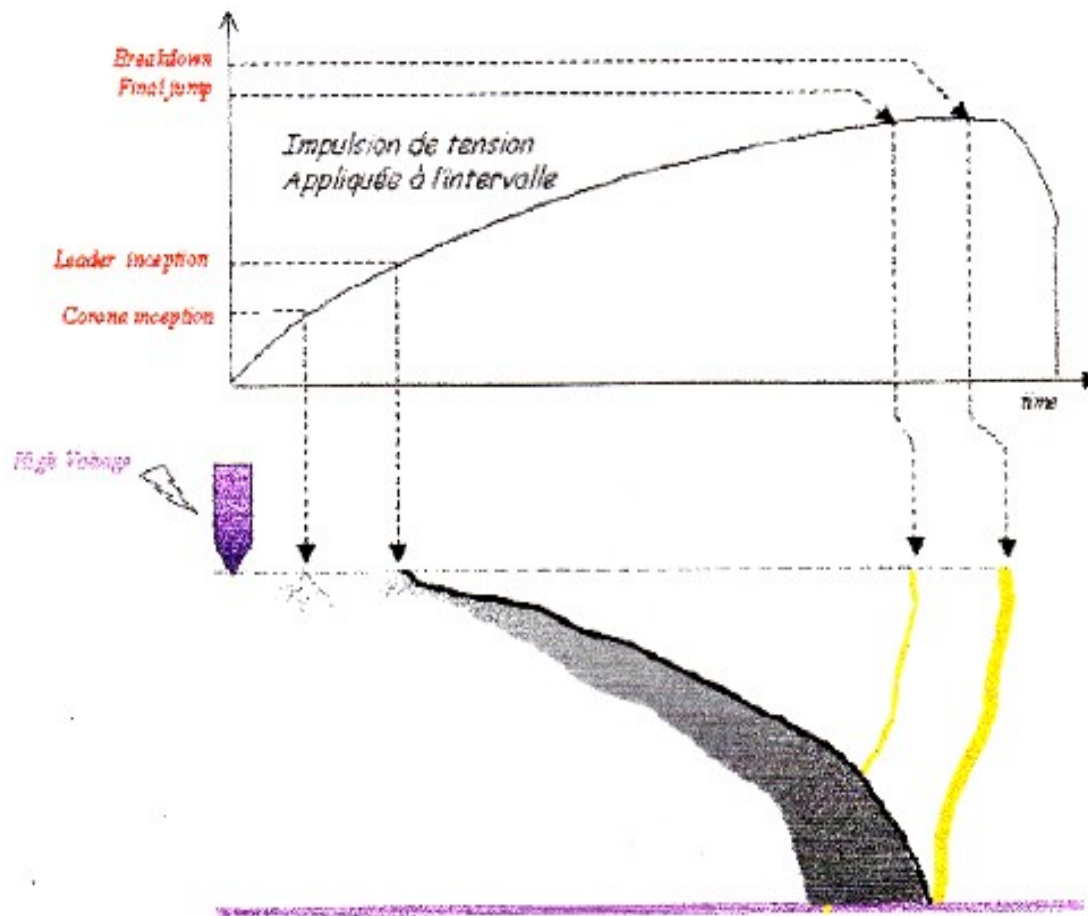


Figure II - 13 : Développement complet d'une décharge. [7]

II-10. Mécanisme de claquage dans un system pointe- plan :

II- 10 -1. Mécanisme électrique :

A partir d'une certaine tension, dite d'initiation d'effet couronne, se manifestent à la pointe des phénomènes d'ionisation locale. En augmentant la tension, plusieurs streamers filamenteaire se développent dans l'espace inter- électrodes pour former un canal fortement conducteur appelé leader qui constitue le prolongement de l'électrode active. De ce dernier, d'autres streamers prennent naissance et s'allongent jusqu'à la surface de la barrière pour former une décharge circulaire sous forme d'un cône. Si la tension augmente davantage, le rayon de la décharge augmente jusqu'à atteindre un valeur critique au- delà de laquelle le claquage du système barrière/air survient par la formation d'un arc reliant les deux électrodes.

Suivant la valeur du diamètre de la barrière et la distance d , le claquage peut avoir lieu soit par glissement soit par contournement à travers l'air.

En configuration pointe/plan, le claquage de l'isolation se produit en partie par décharge superficielle. La présence de cette charge à la surface de la barrière, altère d'une manière considérable la distribution du champ électrique et semble avoir une grande influence sur le processus de décharge [9].

II- 10 -2. Mécanisme thermique :

La rupture thermique ou lieu après la formation d'un canal le long duquel la conductivité du diélectrique devient beaucoup plus importante que le reste du volume. La quantité de chaleur dans le canal s'exprime par [3] :

$$Q_1 = 0.24RI^2 = 0.24\gamma \frac{s}{a} \quad (\text{II-12})$$

Avec :

s : section du canal.

α : épaisseur du diélectrique.

γ : Conductivité moyenne du canal.

Pour U , a et s constantes, la quantité de chaleur Q_1 variera en fonction de la température. En effet la conductivité s'exprime par l'expression suivante :

$$\gamma_\theta = \gamma_{\theta_0} (e^{\alpha(\theta - \theta_0)}) \quad (\text{II-13})$$

γ_θ : Conductivité du diélectrique à la température θ .

γ_{θ_0} : conductivité à la température θ_0 .

α : Coefficient de température.

θ : Température du diélectrique dans le canal.

θ_0 : Température du diélectrique dehors du canal.

La quantité de chaleur dissipée Q_2 est donnée par l'expression suivante :

$$Q_2 = \gamma_{th} (\theta - \theta_0).e \quad (\text{II-14})$$

Avec

γ_{th} : Facteur de conduction thermique.

La rupture du diélectrique est atteinte lorsque les conceptions suivantes sont réunies.

$$Q_1 = Q_2$$

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 :

$$U_d = \alpha \sqrt{\frac{\gamma_{th}}{0.24\gamma_{\theta_0} e.s.\alpha}} \quad (\text{II-15})$$

II-11. L'effet couronne sur lignes aériennes :

L'effet couronne est un terme qui désigne la présence de décharges partielles autour des conducteurs d'une ligne aérienne, sous certaines conditions. Les champs électriques intenses (valeur de crête proche de 30 kV/cm dans l'air) peuvent se produire à la surface des conducteurs et des composantes des systèmes à haute tension.

Dans certaines circonstances, ce phénomène mène à l'ionisation et à la disruptive électrique de l'air entourant le conducteur. Cet effet est connu sous le nom de décharge de couronne, ou simplement "couronne" [7] :

II-11- 1. Calcul du champ critique (Formule de Peek) :

Pour calculer le champ critique (champ d'apparition de l'effet couronne) d'un conducteur cylindrique, on utilise généralement la formule de Peek qui est la plus connue. Elle a pour expression [8] :

$$E_c = E_0 \delta m_1 m_2 \left(1 + \frac{0.308}{\sqrt{\delta r}} \right) \quad (\text{II-16})$$

$E_0 = 30 \text{ kV/cm}$ valeur de crête du champ électrique au conditions normales

r : rayon du conducteur en cm

m_1 : coefficient qui tient compte de l'état de surface du conducteur (irrégularités géométriques du conducteur)

m_2 : coefficient qui prend en considération l'influence de la pollution des conducteurs

δ : densité de l'air

$$\delta = \frac{p 273 + t_0}{p_0 273 + t_0}$$

$P_0 = 76 \text{ cmHg}$

$t_0 = 25^\circ \text{C}$

Le terme $\left(1 + \frac{0.308}{\sqrt{\delta r}} \right)$ est appelé correction de Peek. Il tient compte du fait que plus le rayon du conducteur est petit plus il est difficile d'ioniser loin du conducteur. Cette difficulté d'ioniser est due au fait que le champ électrique décroissant très rapidement en s'éloignant du conducteur, l'énergie acquise par les électrons libres est insuffisante pour accroître l'ionisation [8].

II-11-2. Les pertes par effet couronne :

Les charges créées par avalanches électroniques et entraînées par le champ électrique dans un mouvement de va et vient continuels communiquent, par choc, de l'énergie cinétique aux molécules neutres du gaz. Cette énergie est nécessairement prélevée sur la ligne et ce processus se traduit donc par des pertes d'énergie qui viennent s'ajouter aux pertes par effet joule dans les conducteurs qui sont déterminées par la forme suivante :

$$p_c = 2.41 \frac{f + 25}{\delta} \sqrt{\frac{r}{d}} [V_s - V_c]^2 \quad (\text{II-17})$$

δ : densité de l'air.

d : distance entre deux conducteurs de ligne.

r : le rayon du conducteur de ligne.

V_s : la tension simple du réseau triphasé symétrique (kV_{eff}).

V_c : la tension simple d'apparition de l'effet couronne (kV_{eff}).

f : fréquence du réseau 50 ou 60 Hz.

Cette relation est valable lorsque $V_s \geq V_c$ car c'est le cas où l'effet couronne apparaît.

II-11-3. Application des décharges couronnes :

Les décharges couronne ont de nombreuses applications commerciales et industrielles [11].

- Production d'ozone.
- Filtrage des particules contenues dans l'air.
- Destruction de particules organiques contenues dans l'atmosphère : pesticide, solvant,...
- Traitement de surface de certains polymères
- Photocopieur
- Laser à azote
- Séparation électrostatique de matières conductrices et non- conductrices.
- Refroidissement de composants électroniques.

II- 11 -4. Problèmes liés aux décharges couronne

Les décharges de couronne peuvent produire des bruits audibles et des perturbations sur les fréquences radio, en particulier à proximité des lignes à haute tension. Elles représentent également une perte de puissance. Enfin, les réactions qu'elles provoquent dans l'atmosphère pourraient avoir

un impact sur la santé. C'est pourquoi les installations de transmission électrique sont conçues pour minimiser la formation des décharges de couronne [11].

Les décharges de couronne sont particulièrement à éviter dans :

- Les installations de transmission électrique où elles provoquent une perte d'énergie et du bruit.
- La plupart des équipement électriques : transformateurs, machines électriques (aussi bien générateurs que moteurs), etc. Où elles endommagent progressivement les isolants amenant à une détérioration prématurée des équipements.
- Toutes les situations nécessitant une tension importante mais où la production d'ozone doit être minimale.

II -11-5. Réduction de l'effet couronne sur les lignes électriques :

La réduction de l'effet couronne sur les lignes à haute tension par des mesures spécifiques n'est en général nécessaire que quand le niveau de tension de la ligne dépasse 345 kV. Au-delà de la réduction des nuisances aux populations, le coût économique des pertes en ligne par effet couronne peut justifier à lui seul de prendre des mesures correctives. Ces mesures sont de 2 types :

- Utilisation de conducteurs de gros diamètre, pour limiter le champ électrique à la surface. Cette mesure est souvent inefficace, et rarement économiquement justifiée, car l'effet de peau rend souvent inefficace le choix de conducteurs de grosse section.
- Utilisation de faisceau de conducteurs (typiquement 2 conducteurs ou plus en 400kV, 3 conducteurs ou plus en 500kV).

Le choix du nombre de conducteurs d'une ligne électrique se fait donc en fonction du courant à transiter, des conditions climatiques, des effets de peau et couronne, et bien –sûr des aspects économiques. Un critère simple permettant de limiter l'effet couronne sur les lignes électriques consiste à s'assurer que le champ superficiel sur le conducteur ne dépasse pas une valeur de l'ordre de 17 kV/cm. [11]

II- 11 -6. Réduction de l'effet couronne dans les postes électriques :

Dans les postes électriques haute tension, les considérations précédentes restent valables. L'aspect de perturbations sur les fréquences radio devient critique, en raison de la présence d'équipements électriques sensibles. Les appareils HTB (sectionneur, Disjoncteur à haute tension, parafoudre,...) doivent être conçus et testés pour limiter ces perturbations radio-électriques liées à l'effet couronne [11].

Conclusion :

La décharge couronne désigne l'ensemble des phénomènes électriques liés à l'apparition d'une conductivité dans un intervalle gazeux soumis à un champ hétérogène sous l'effet de plusieurs paramètres naturels, électriques, géométriques.

Dans le chapitre qui suit, nous allons étudier l'influence des barrières diélectriques sur la décharge couronne obtenue lors des expériences réalisées.

III-1. Introduction :

Ce chapitre est consacré à l'étude expérimentale réalisée au laboratoire de haute tension, les essais ont été réalisés dans le but de compléter les études sur la décharge couronne en utilisant les barrières diélectriques. Les expériences ont été effectuées dans les conditions normales de pression et de température sous une tension continue et sous une tension alternative à 50 Hz.

III- 2. Dispositif expérimental :

Les dispositifs expérimentaux utilisés sont montrés par les figures (III- 1) et (III -2). Les tensions d'alimentation varient de 0 à 65 kV pour le continu et de 0 à 100 kV pour l'alternatif. La tension est mesurée aux bornes d'une résistance $R=1k\Omega$ par un voltmètre MX53C, et de système électrode pointe- plan en cuivre, rayon de la pointe est de 0,75 mm, et 10cm pour le plane.

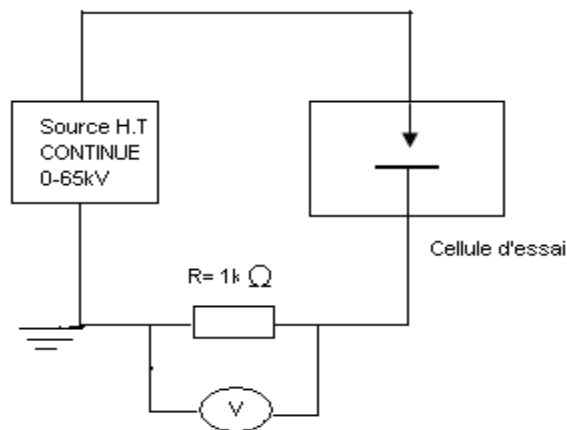


Figure III – 1:Dispositif expérimental en tension continue

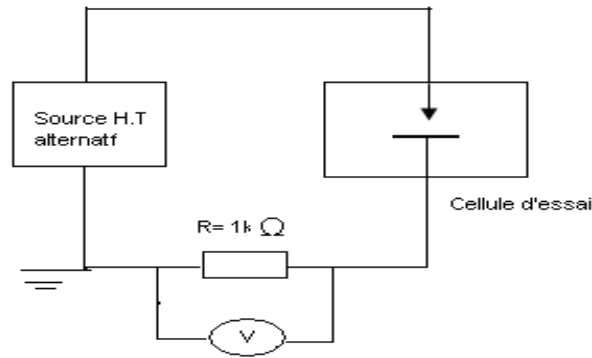


Figure III -2 : Dispositif expérimental en tension alternative

III-3. Les matériaux utilisés

Les matériaux utilisés sont le polyméthyl métacrylate (PMMA) et le styrène-acrylonitrile (SAN) de 0,5 mm d'épaisseur.

III- 3 -1. Propriétés des matériaux utilisés :

III -3-1-1. Le polyméthyl métacrylate (PMMA) :

- Masse volumique : $1,12 \text{ g/cm}^3$,
- Remarquable niveau de transparence et de brillance,
- Haute niveau de rigidité diélectrique (15 à 20 kV/mm),
- Haute dureté,
- Résistance à la déformation au chaud,
- Très bon pouvoir d'isolation électrique,
- Dureté superficielle maximale,
- Très haute résistance au vieillissement climatique et à la lumière ultra-violette,
- Electrostatique,
- Bonne résistance aux agents chimiques,
- Température de fusion : 210°C ,
- Température de transition vitreuse : 110 à 135°C ,
- Température de ramollissement (90°C),
- Résistance superficielle de 10^{15} à $10^{16} \Omega$,
- Résistance transversale de 10^{15} à $10^{16} \Omega.\text{cm}$,

III-3-1-2. Styrène- acrylonitrile (SAN) :

- Masse volumique : 1.08 g/cm³,
- Rigidité élevée,
- Imperméable à l'eau,
- Bonne résistance aux Ultra- violets,
- Bonne résistance mécanique,
- Bonne stabilité aux agents chimiques,
- Température de ramollissement : 110°C,
- Température de transition vitreuse : 115°C.

III- 4. Mode opératoire :

Dans le but d'éviter toute modification ou altération des électrodes liées à la corrosion, à la température, à la pression et à la pollution, les électrodes et les échantillons sont nettoyées avec l'alcool avant et après chaque essai.

L'ensemble des essais est réalisé dans les mêmes conditions atmosphériques (pression, température et humidité).

III- 5. Résultats et commentaires :

Nous avons étudié, en tension continue pour les deux polarités et en tension alternative 50 Hz, l'influence de la nature du matériau de la barrière isolante et de celle de la distance inter-électrodes sur la décharge couronne.

III -5 -1. Influence de la distance inter- électrodes :

III – 5 -1-1. En tension continu :

Les figures (III-1) à (III-4) montrent la variation de l'intensité du courant en fonction de la tension appliquée pour différentes distances inter électrodes pour les deux matériaux (PMMA et le SAN).

Les résultats montrent que l'intensité du courant augmente avec la tension appliquée aussi bien pour la polarité positive que la polarité négative et pour les deux matériaux. Par contre, l'intensité du courant diminue légèrement avec l'augmentation de la distance inter électrodes notamment au delà de 8 kV pour le PMMA et 2 kV pour le SAN en polarité positive et 4 kV et 2 kV en polarité négative.

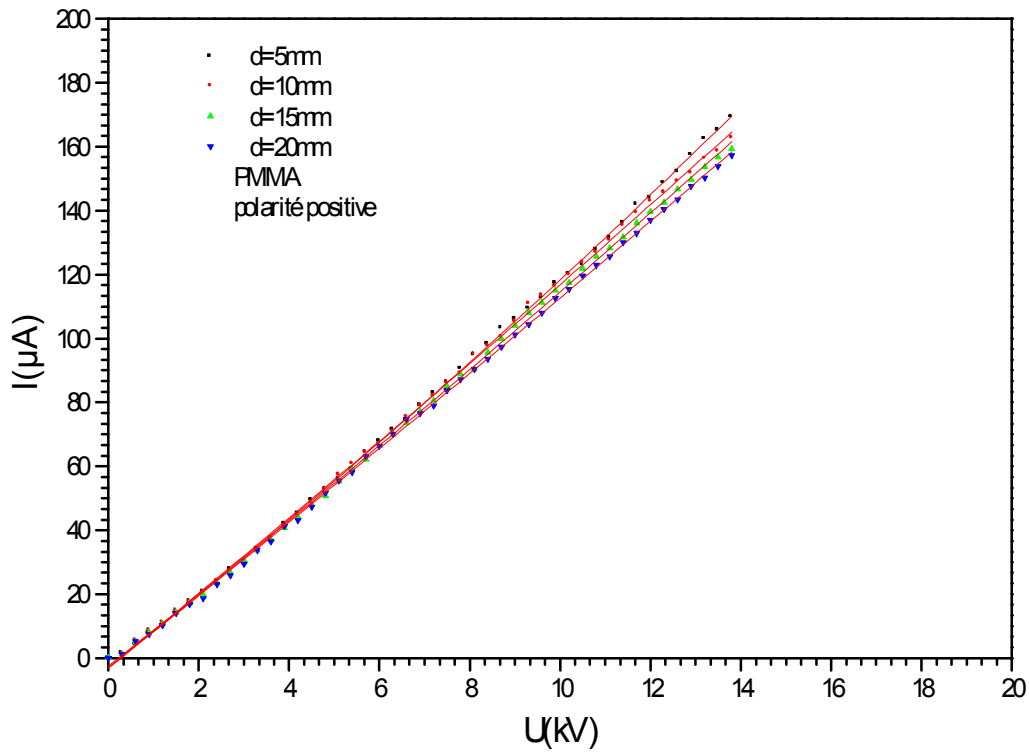


Figure III - 1 : Caractéristique U-I pour différents distance (PMMA, $e = 0.5\text{mm}$, polarité positive).

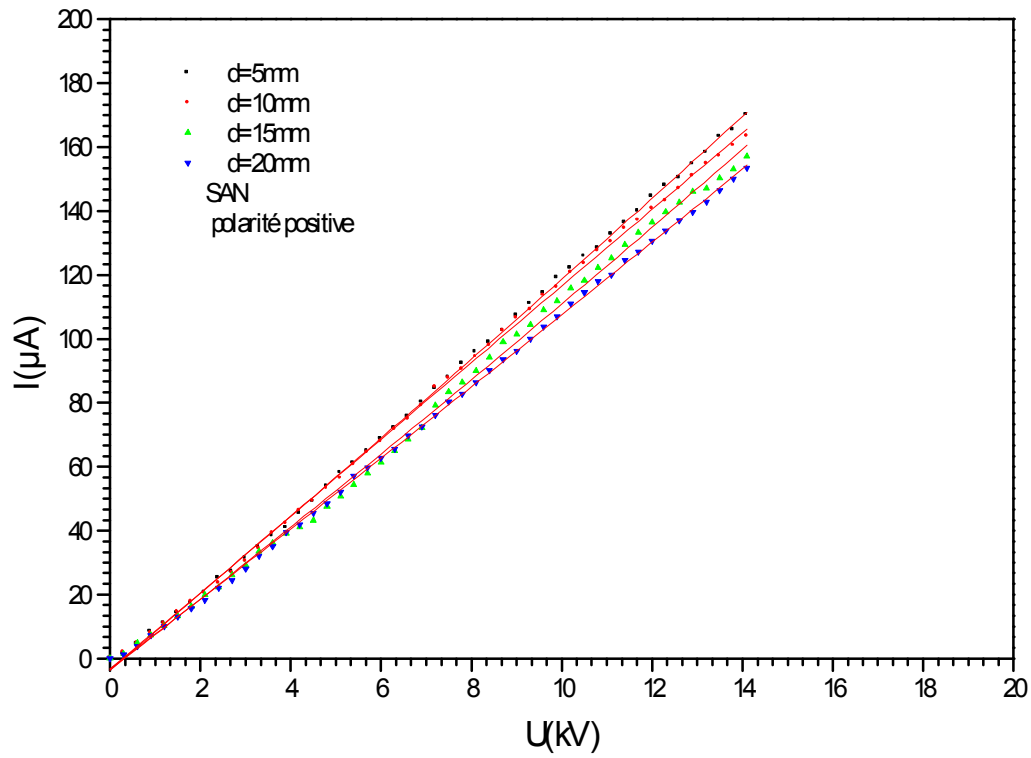


Figure III - 2 : Caractéristique U – I pour différentes distances (SAN, $e = 0.5\text{mm}$, polarité positive).

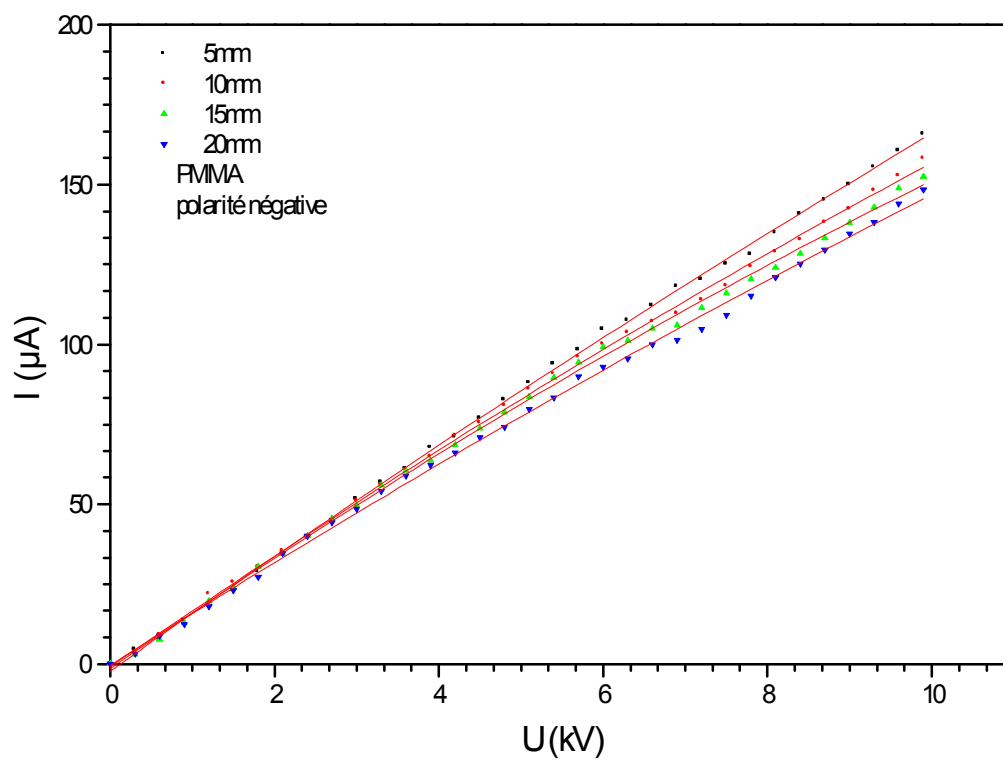


Figure III -3 : Caractéristique U-I pour différentes distances (PMMA, $e=0.5\text{mm}$, polarité négative).

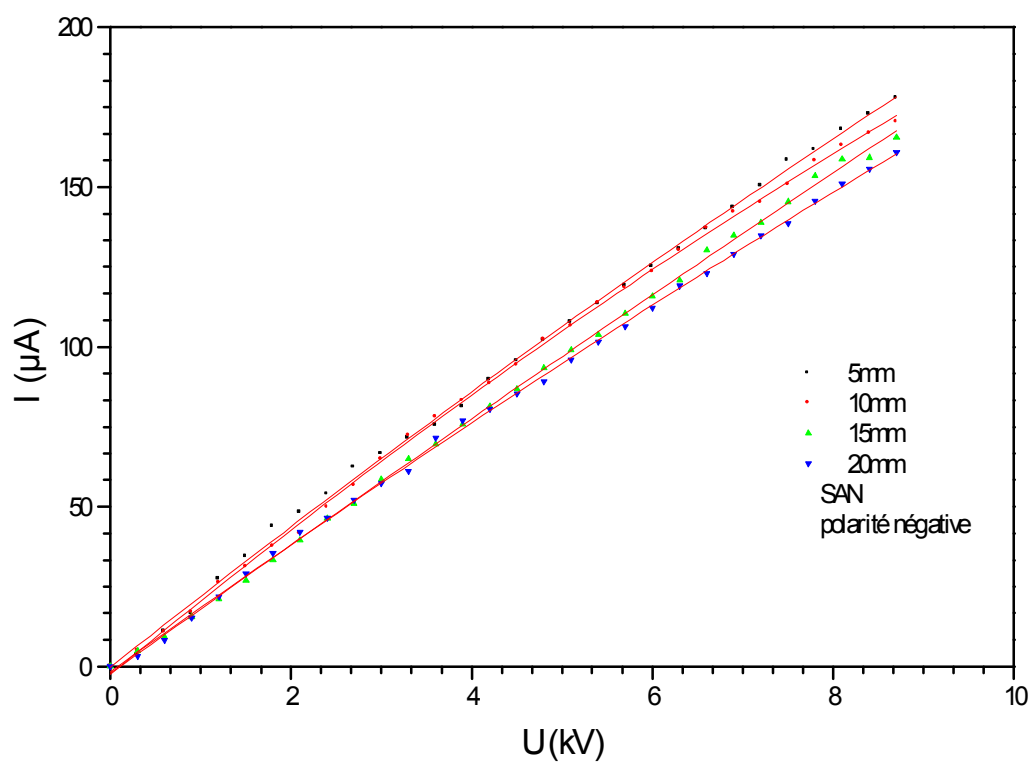


Figure III - 4 : Caractéristique U-I pour différentes distances (SAN, $e=0.5\text{mm}$, polarité négative).

III-5 -1-2. En tension alternative :

Les figures (III-5), (III-6) montrent que pour une petite variation de la distance pour les deux types de barrières, on aura une petite variation du courant décroît progressivement.

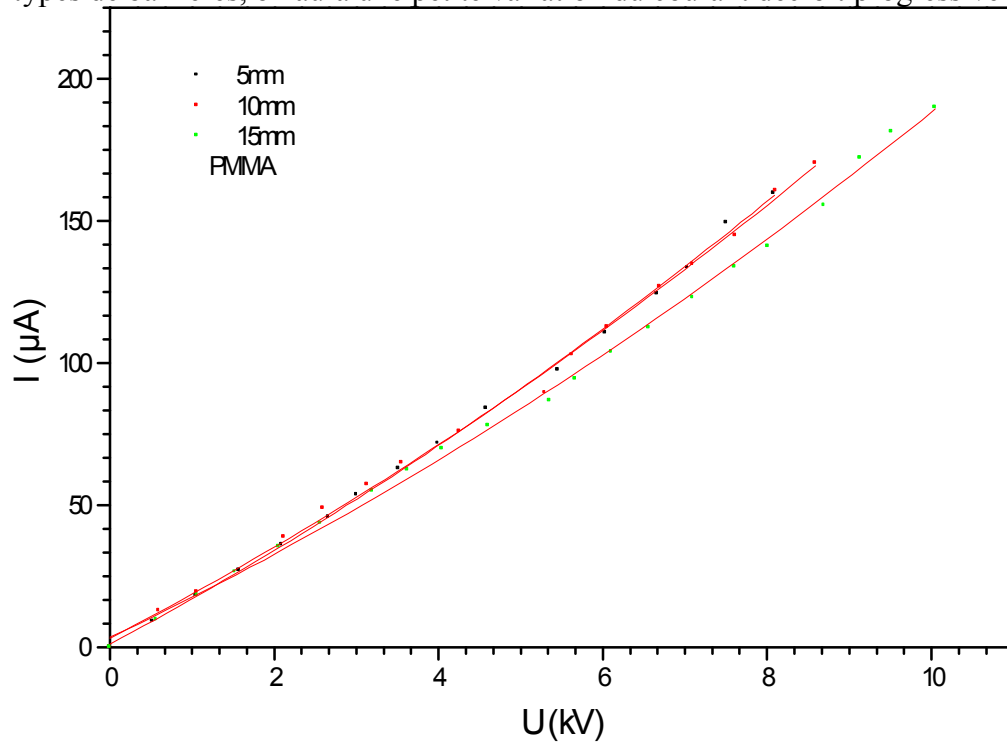


Figure III - 5 : Caractéristique U-I pour différentes distances (PMMA, $e=0.5\text{mm}$, U alternative)

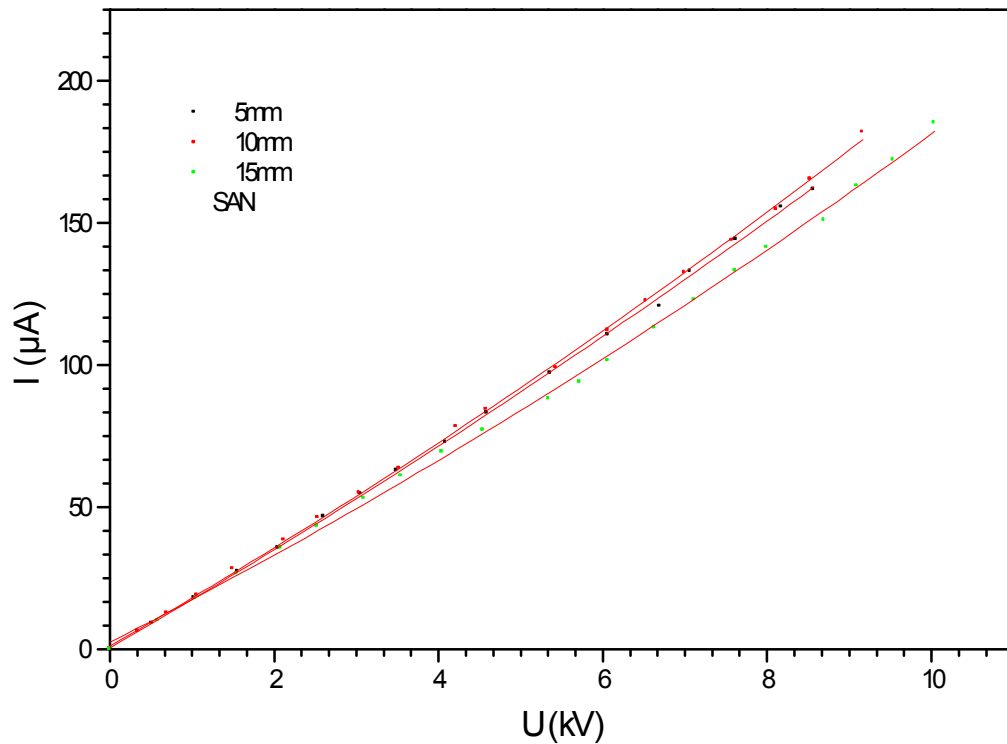


Figure III - 6 : Caractéristique U-I pour différentes distance (SAN, $e=0.5\text{mm}$, U alternative)

III -5-2. Influence de type de tension :

Ces essais sont réalisés en polarité positive, polarité négative, et en tension alternative.

Les figures (III-7), (III-8), (III-9) montrent qu'en polarité positive, les courants de décharge du PMMA sont plus importants que ceux du SAN. Par contre, en polarité négative et en tension alternative les courants sont pratiquement identiques.

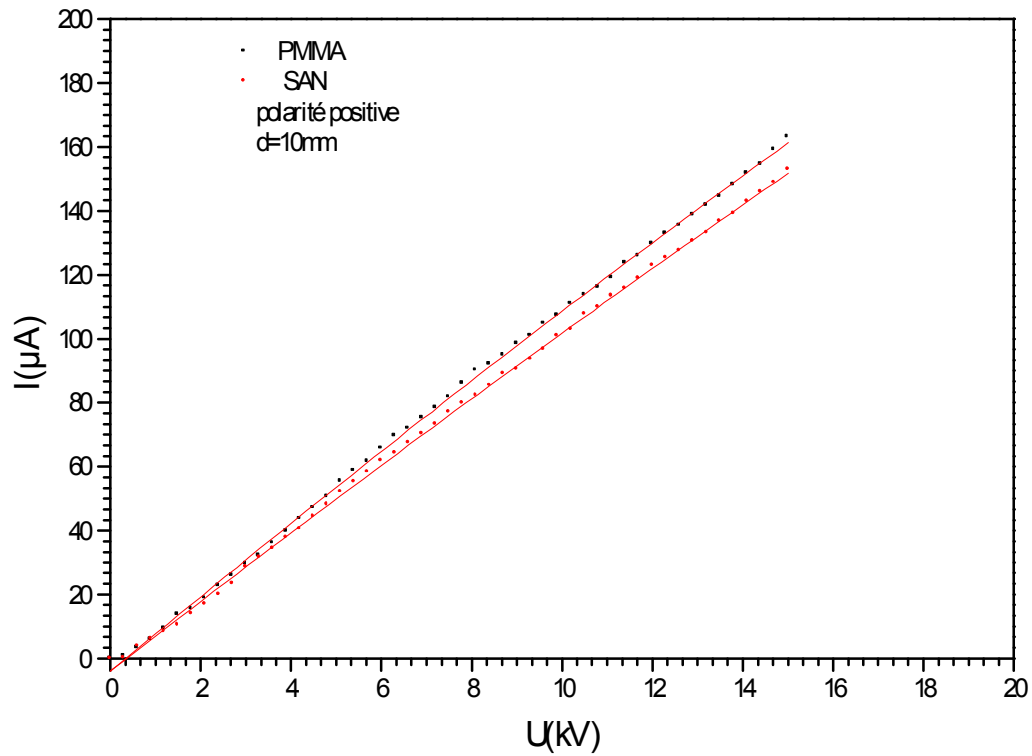


Figure III-7 : Caractéristique U-I pour deux matériaux
($d=10mm$, $e=0.5mm$, polarité positive).

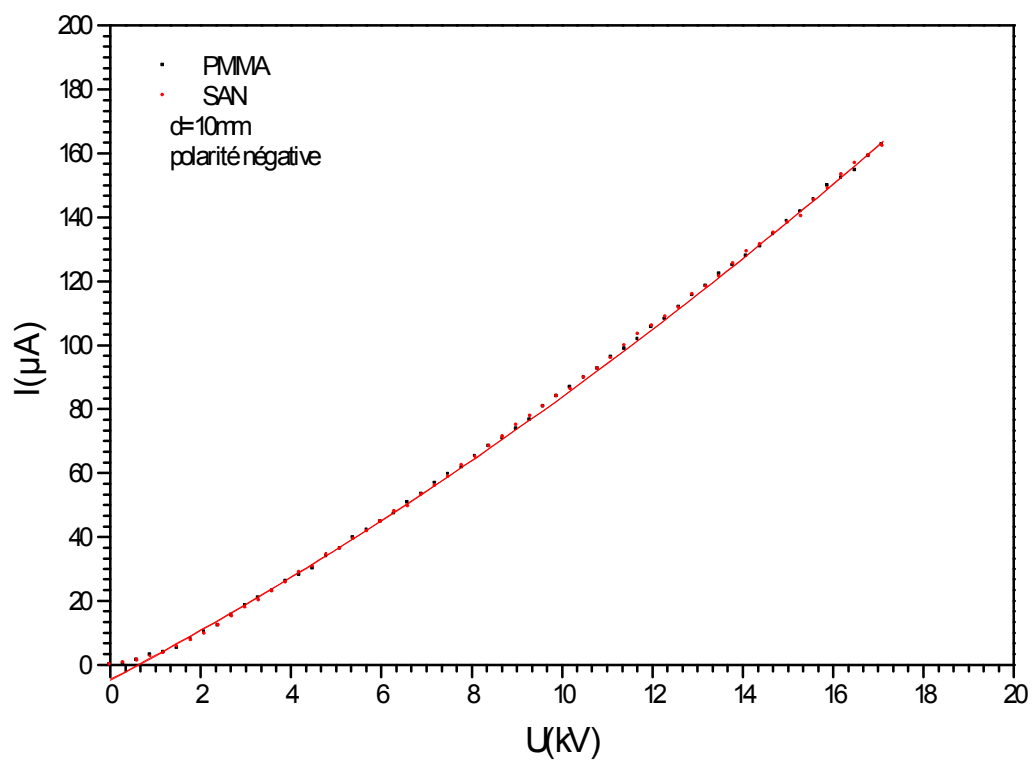


Figure III – 8 : Caractéristique U - I pour deux matériaux ($e=0.5mm$, $d=10mm$, polarité négative).

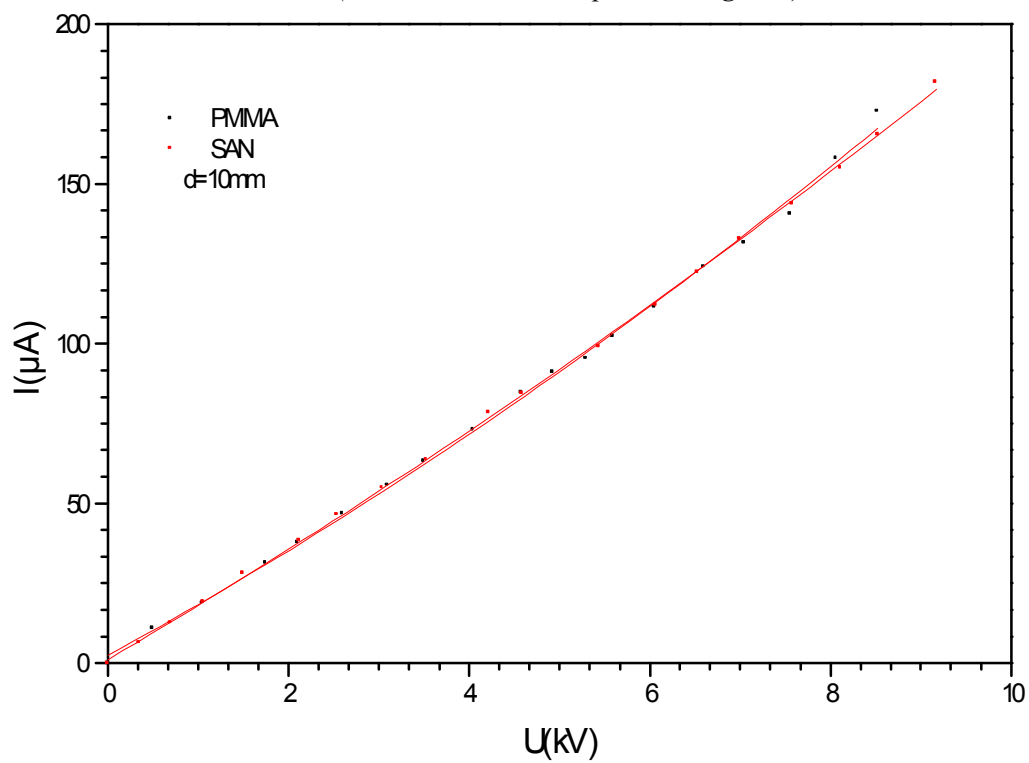


Figure III-9 : Caractéristique U - I pour deux matériaux ($d=10\text{ mm}$, $e=0.5\text{ mm}$, U alternative).

III-5-3. Influence des différents matériaux de la barrière :

- **En polarité positive :** La figure (III-10) montre que la présence de la barrière n'a de l'effet sur l'intensité du courant qu'au delà de 7 kV. En effet, le courant de décharge diminue avec la barrière isolante aussi bien pour le PMMA que pour le SAN. Cette diminution est plus importante pour le SAN
- **En polarité négative :** La figure (III-11) montre aussi que la présence de la barrière n'a de l'effet sur l'intensité du courant qu'au delà de 7 kV et que la nature du matériau n'a pas d'effet sur le courant de décharge.

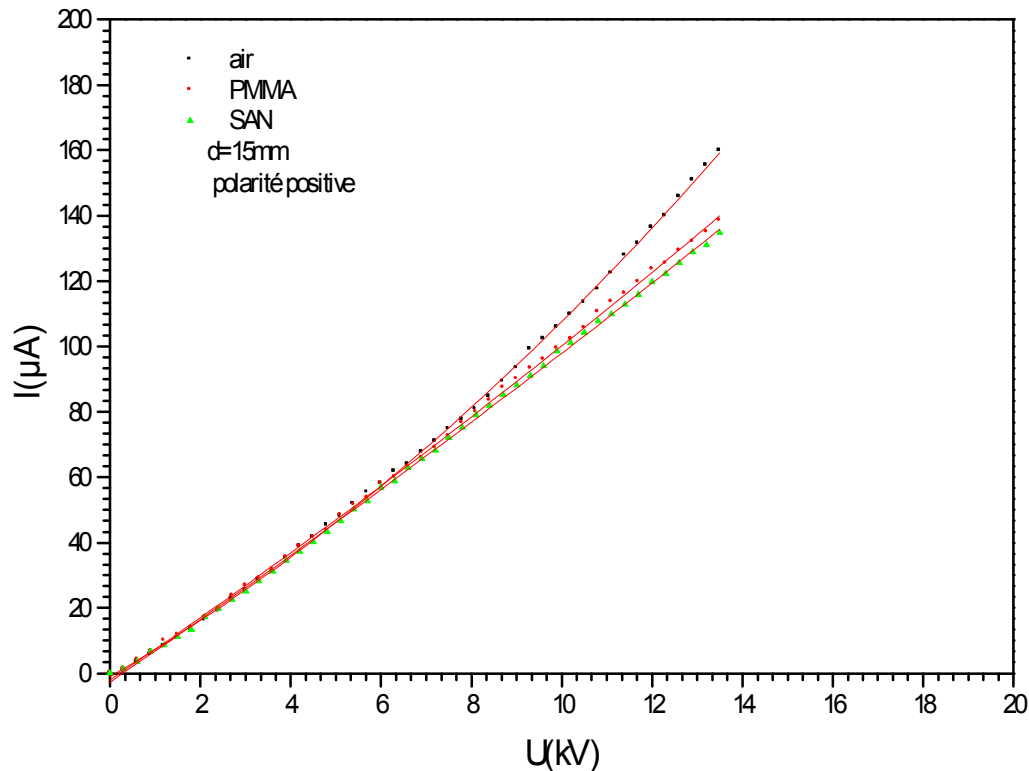


Figure III-10 : Caractéristique U - I pour différents matériaux ($d = 15 \text{ mm}$, polarité positive).

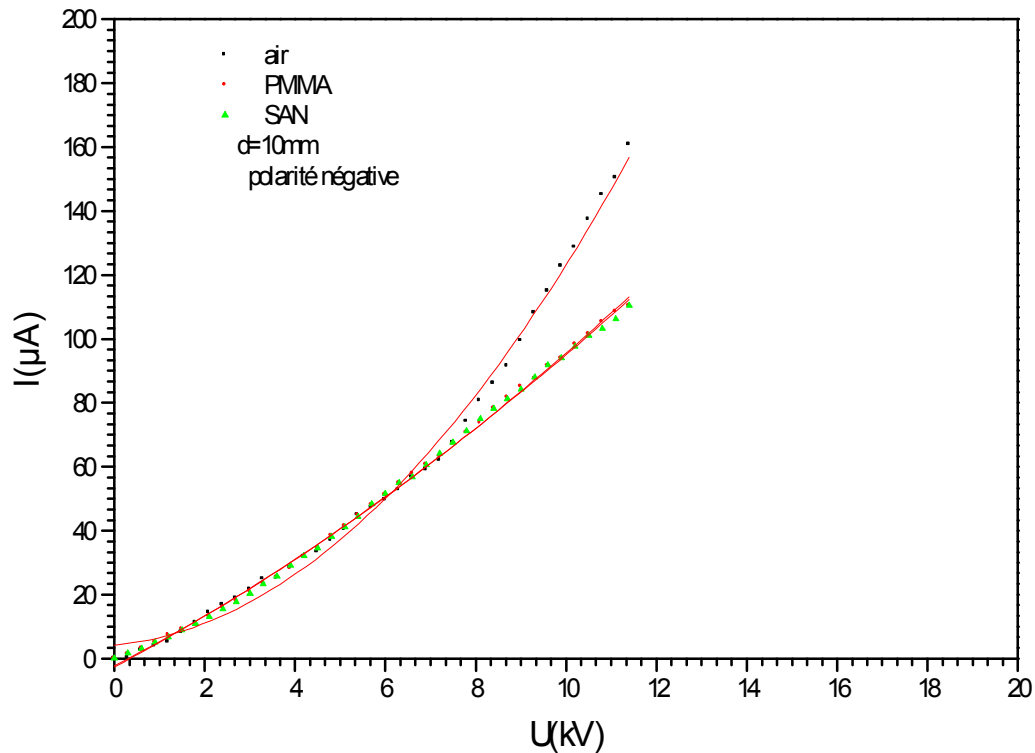


Figure III -11 : Caractéristique U-I pour différents matériaux
($d=10\text{mm}$, $e=0.5\text{mm}$, polarité négative).

III-5-4. Variation temporelle du courant pour différentes tensions et polarités :

Les figures (III-12) à (III-21) montrent la variation du courant de décharge en fonction du temps pendant une heure pour différentes tensions appliquées aussi bien en polarité positive qu'en polarité négative. Les résultats montrent que le courant de décharge diminue légèrement avec le temps pour les deux matériaux et les deux polarités.

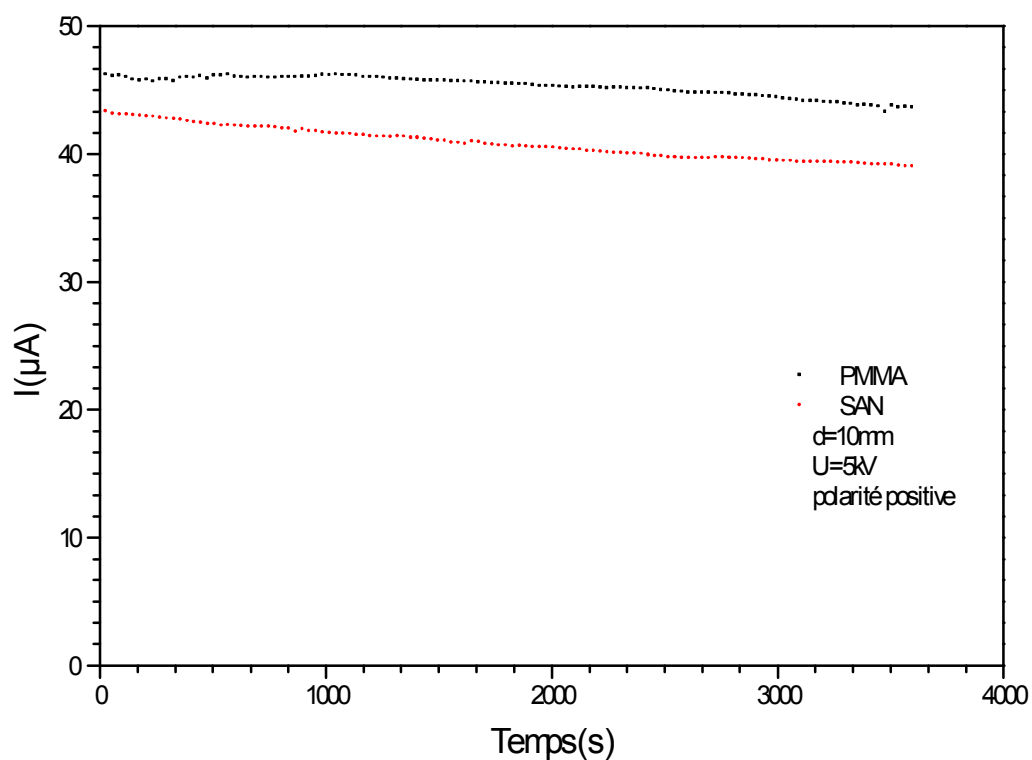


Figure III - 12 : Caractéristique $I(t)$ pour deux matériaux
($U=5kV$, $d=10mm$, $e=0.5mm$, polarité positive).

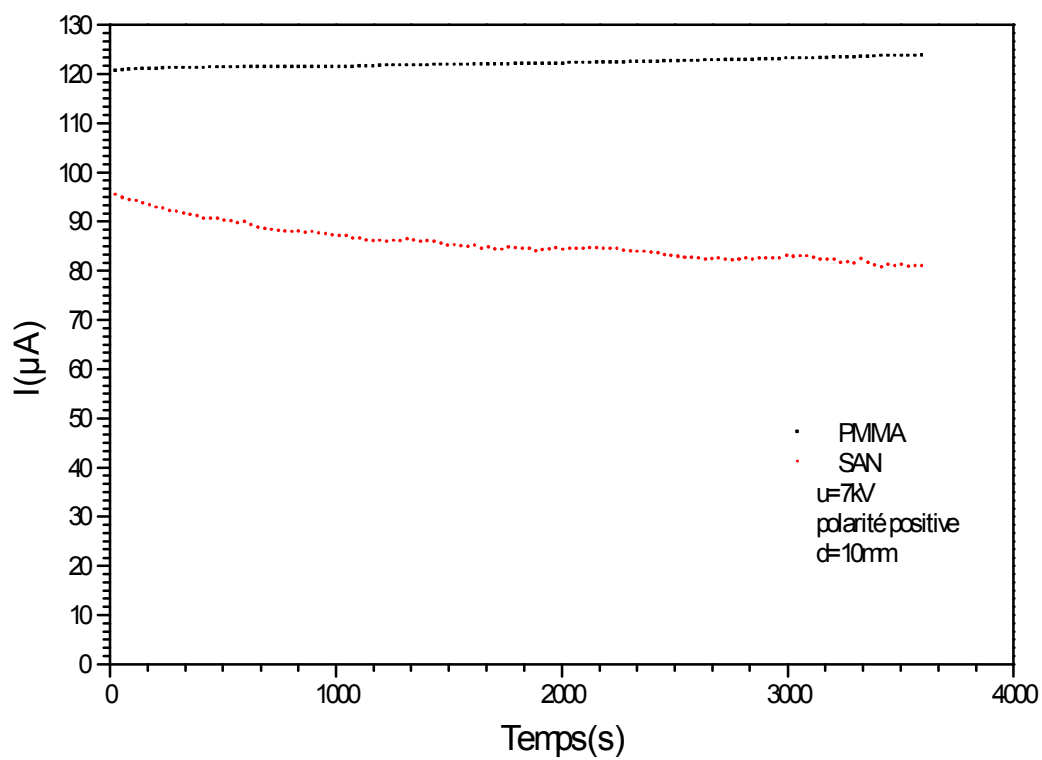


Figure III -13 : Caractéristique $I(t)$ pour deux matériaux
($U=7kV$, $d=10mm$, $e=0.5mm$, polarité positive).

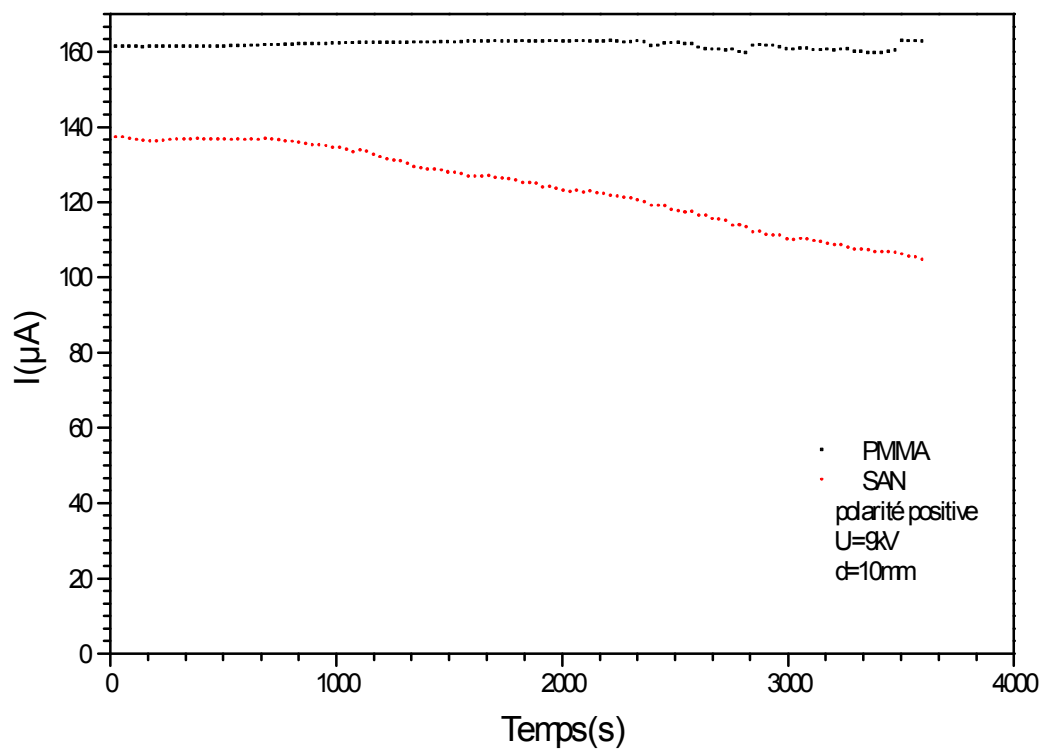


Figure III -14 : Caractéristique $I(t)$ pour deux matériaux ($U=9kV$, $d=10mm$, $e=0.5mm$, polarité positive).

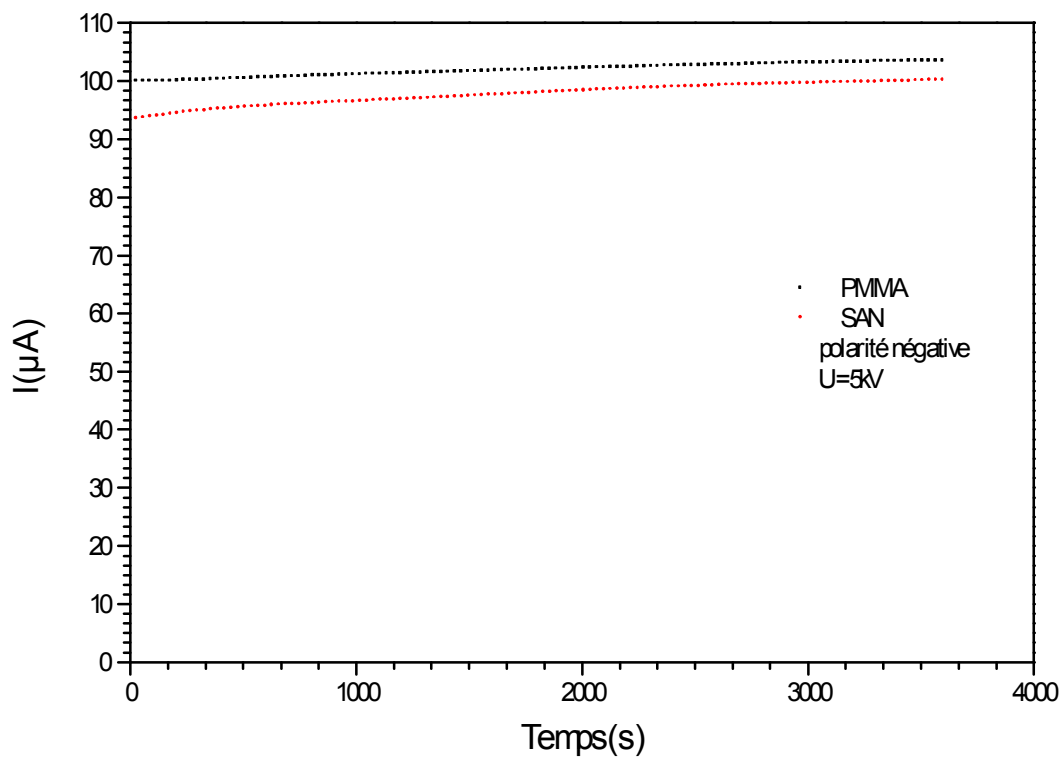


Figure III -15 : Caractéristique $I(t)$ pour deux matériaux ($U=5kV$, $d=10mm$, $e=0.5mm$, polarité négative).

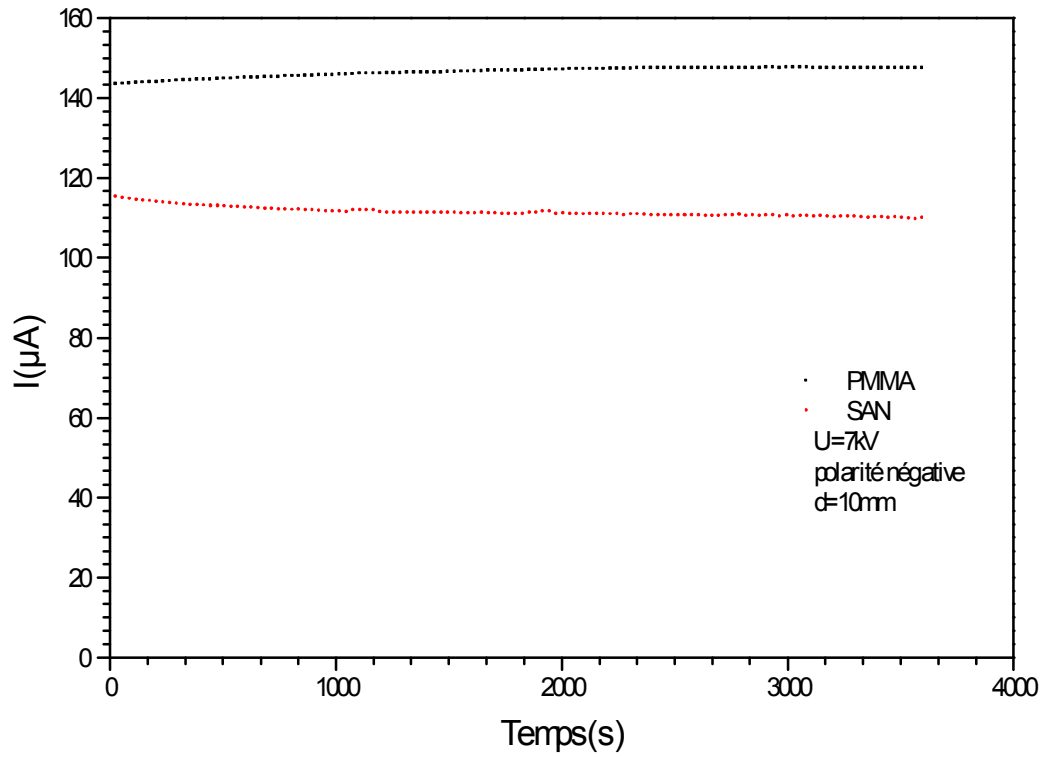


Figure III -16 : Caractéristique $I(t)$ pour deux matériaux
($U=7kV$, $d=10mm$, $e=0.5mm$, polarité négative).

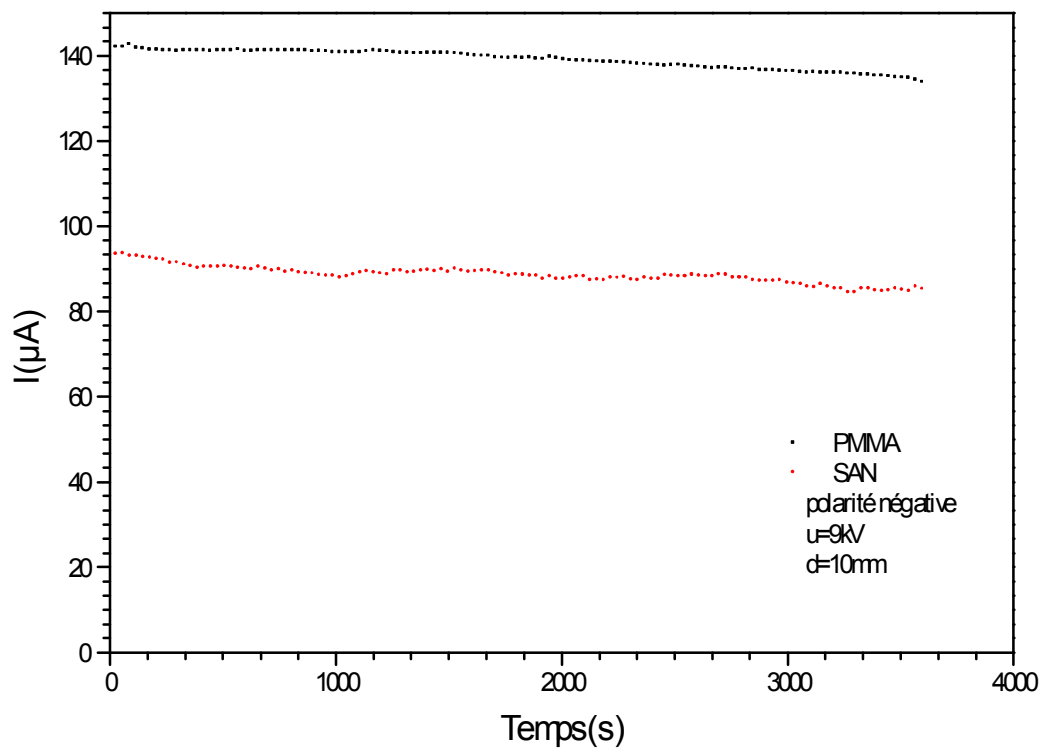


Figure III -17 : Caractéristique $I(t)$ pour deux matériaux
($U=9kV$, $d=10mm$, $e=0.5mm$, polarité négative).

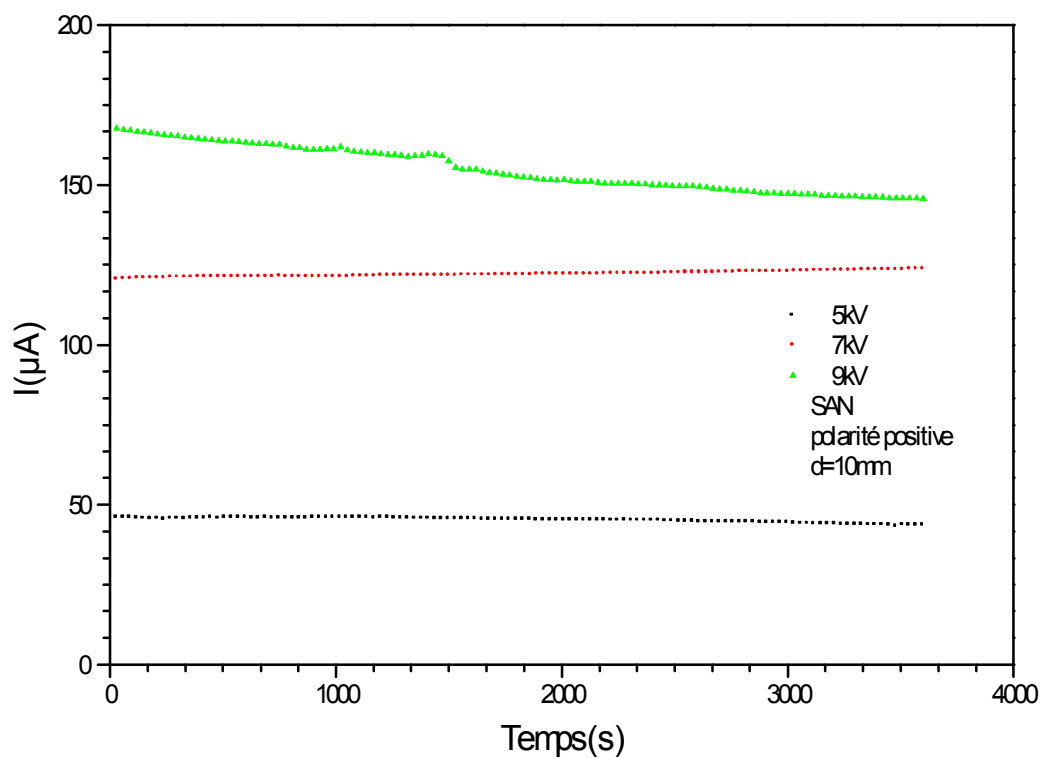


Figure III-19 : Caractéristique $I(t)$ pour différentes tension (SAN, $d=10\text{mm}$, $e=0.5\text{mm}$, polarité positive).

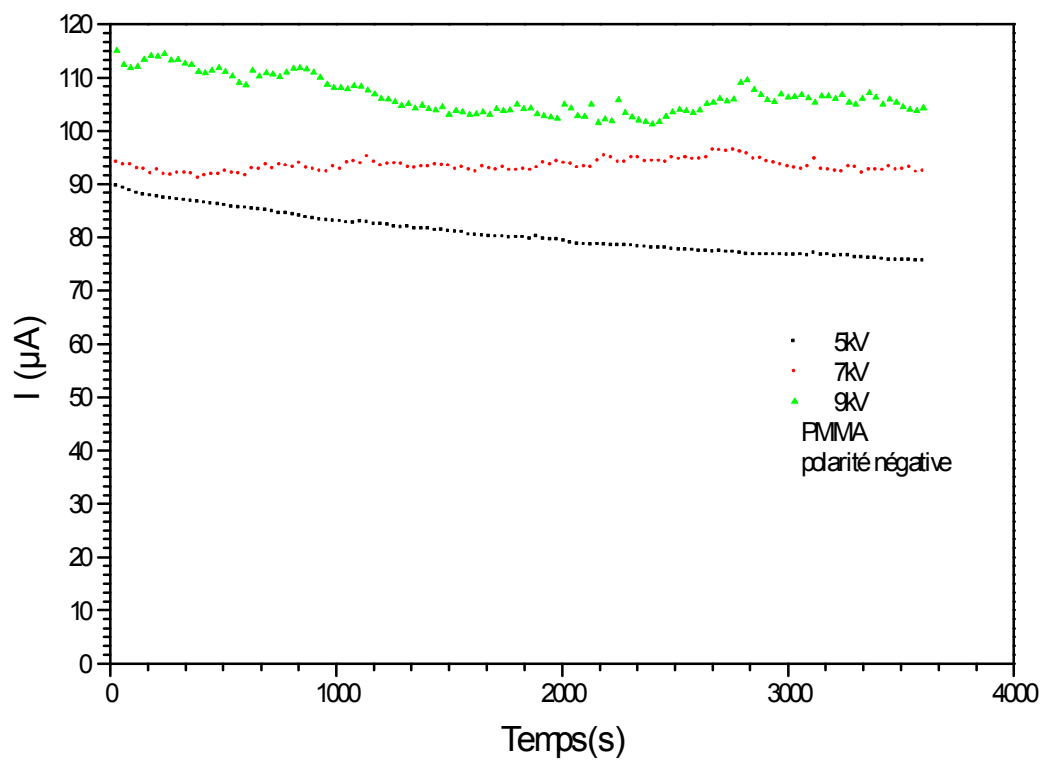


Figure III -20 : Caractéristique $I(t)$ pour différents tension (PMMA, $d=10\text{mm}$, $e=0.5\text{mm}$, polarité négative)

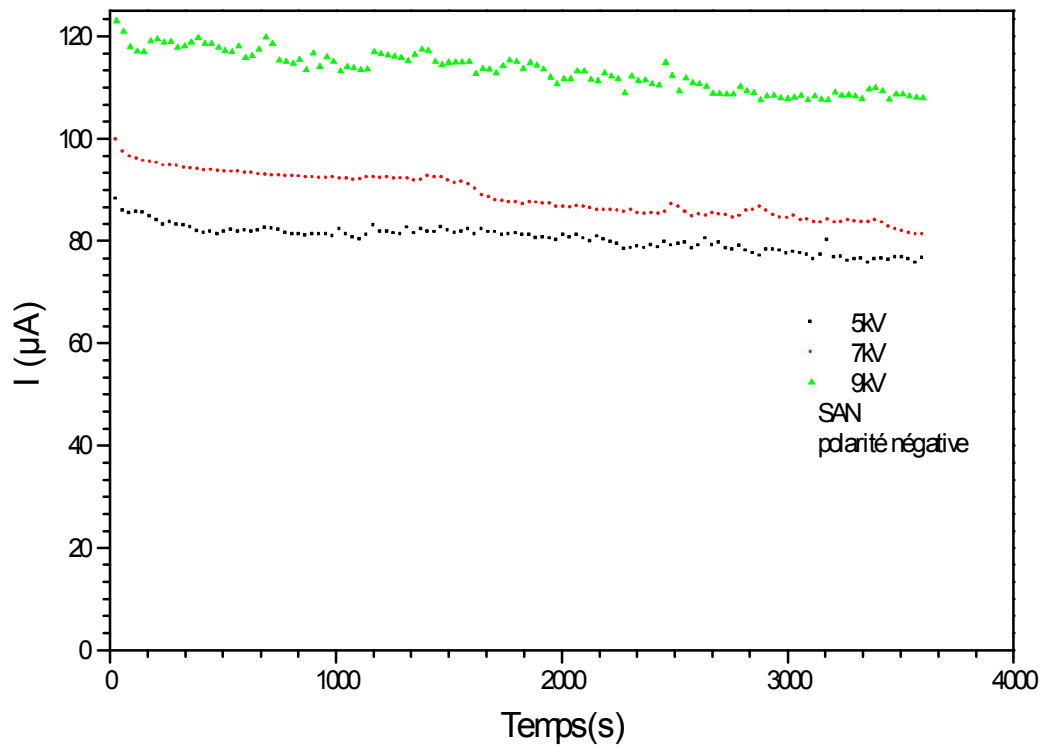


Figure III-21 : Caractéristique $I(t)$ pour différentes tensions (SAN, $d=10\text{mm}$, $e=0.5\text{mm}$, polarité négative).

Conclusion :

Les résultats obtenus montrent que la présence de la barrière isolante influe sur la décharge couronne. En effet, les courants diminuent et la décharge se stabilise. L'effet de la nature du matériau de la barrière sur la décharge couronne a été observé uniquement en polarité positive de la pointe

Conclusion générale :

Le travail que nous avons réalisé a porté sur l'étude de l'effet de la nature d'une barrière diélectrique en régime de décharge couronne. L'étude expérimentale sur cette décharge en géométrie pointe- plan a été réalisée en tension alternative 50 Hz et en continu dans laquelle plusieurs paramètres ont été pris en considération (géométrie des électrodes, nature du matériau de la barrière, distance inter électrodes et type de tension appliquée).

Des résultats obtenus, on peut tirer les conclusions suivantes :

- L'intensité du courant est inversement proportionnelle à la distance inter électrode.
- L'absence d'effet sur la décharge couronne dans les deux types de tension.
- Les barrières diélectriques jouent un rôle important dans l'amélioration de la rigidité diélectrique du système et stabilise la décharge ;
- L'effet de la barrière est important en polarité positive de la pointe, par contre il est négligeable en polarité négative ;

Nous espérons que ce travail sera d'une aide appréciable pour ceux qui poursuivront l'étude sur ce phénomène assez compliqué qu'est la décharge couronne.

Bibliographie

[1] : G .LEROY; C. GARY ; B.HUTZLER ; J.LALOT ; C.DUBANTON

" Les propriétés diélectriques de l'air et les très hautes tension "

Edition Eyrolles 1984

[2] : R.FOURNIE

" Les isolantes en électrotechnique "

[3] : H.FEDOUL ; S KECHIR

" Influence d'une barrière diélectrique sur une décharge couronne en géométrie pointe- plan "

Mémoire d'ingénieur, U.M.M.T.O .2007.

[4] : M^{er} M.MEKIOUS

" Influence du matériau d'électrode sur une décharge couronne "

Thèse de magister U.M.M.T.O. 2001.

[5] : M^{elle} DJ.SAAD ; M^{elle} S. SACL.

" Modélisation de la décharge couronne positive en géométrie fil- cylindre "

Mémoire d'ingénieur U.M.M.T.O.2007.

[6] : M^{elle} L.SADEG

" Introduction matériau d'électrode- décharge couronne en géométrie pointe- plan "

Mémoire d'ingénieur.U.M.M.T.O.2004.

[7] : M^{er} L.KHELLOUL ; M^{elle} F. MEZIANE.

" Influence d'une barrière diélectrique sur une décharge couronne en géométrie pointe- plan "

Mémoire d'ingénieur U.M.M.T.O.2006

[8] : M^{er} HANDALA

" Technique de haute tension, Note de cours, Tec 424 "

U.M.M.T.O

[9] : M^{er} K.BOUHANIK ; M^{er} M.ELKOUCHA

" Contribution à l'étude d'une isolation composée barrière/air sous tension alternatif 50Hz "

Mémoire d'ingénieur U.M.M.T.O. 1994.

[10] : M^{er} H.SADAT ; M^{er} N.DUBUS

" Décharge couronne, application et modélisation "

Projet Utilisation Rationnelle de l'énergie.

Energétique Industrielle année 2004/2005.

[11] : [http : " fr.wikiped.org/wiki/effet corona](http://fr.wikipedia.org/wiki/effet_corona)

[12] : **M^{er} R.OULDLAMARA ; M^{er} F.OURLISSANE ; M^{er} B.SIDMOHEND**

" Etude théorique et expérimentale de la tension seuil d'apparition de l'effet couronne dans les lignes haute tension en faisceaux "

Mémoire d'ingénieur U.M.M.T.O. 1999/2000.

[13] : **M^{er} M.OUMOKHTAR. M^{elle} . R.BOURABA**

" Développement de la décharge superficielle en tension alternatif 50Hz "

Mémoire d'ingénieur U.M.M.T.O. 2003/2004

[14] : **M^{elle} K.AMACHI ; M^{elle} H.BELKACEM. ; M^{elle} K .ZAMOUM**

" Influence des paramètres électro- géométriques sur les décharges électriques 50Hz dans un système pointe- plan "

Mémoire d'ingénieur U.M.M.T.O. 2002