

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté de Génie électrique et d'Informatique
Département d'Electrotechnique



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du
Diplôme d'Ingénieur d'état en Electrotechnique
Option : Réseaux Electriques

Thème

***Etude du courant et de la charge
associée d'une décharge de
surface sous tension 50Hz***

Présenté par :

M^{elle} . ACHOUR Wahiba
M^{elle} . YAHIAOUI Naima

Dirigé par :

M .M.A. HANDALA

Promotion 2011/2012

Remerciement Remerciement

Nous remercions avant tous notre dieu de nous avoir donné la chance et la santé pour pouvoir continuer nos études jusqu'à ce jour.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos remerciements à notre promoteur M. M.A. HANDALA pour avoir accepté de nous encadrer et pour ses judicieux conseils qui ont rendu possible l'élaboration de ce travail.

Nous tenons à remercier aussi les post-graduats pour leur accueil particulièrement : M^{lle} ZEBOUDJ.F, M. GOUJIL.H, M^{lle} KIRECHE.N, M. BELHITECHE. E.H et M. MOUDOUD.M.

Nos remerciements vont également à toutes personnes qui nous a apporté l'aide de près ou de loin.

Notre profonde gratitude va également à l'attention de tous les membres de jury qui nous ferons l'honneur d'examiner ce modeste travail.

Dédicaces Dédicaces

A mes parents,

Vous avez manifesté beaucoup de sacrifices afin de me voir grandir devant vos yeux. Aujourd'hui vient mon tour pour vous remercier en vous offrant ce travail qui est le fruit de vos sacrifices. Je vous dois toute ma vie, je vous souhaite une longue vie et parfaite santé.

A mes frères et mes sœurs

J'apprécie beaucoup la grande affection que vous avez pour moi. A cette reconnaissance, je vous manifeste mon meilleur sentiment en vous offrant le fruit de mon travail, vous Kamel, Souad, Nissa, Nacera et Idir.

Je tiens aussi à dédier ce travail à:

- *Mes grands mères*
- *Mon oncle Moh*
- *Mes oncles paternels*
- *Toute la famille YAHIAOUI et TAKI*

A mes très chers amis:

Nacéra, Farida ZEBOUJ, Sofiane, Karima, Wahiba, Safia et Souhila, Ghilès

A toute la promotion ETH 2011/2012 sans exception.

Naima

Dédicaces Dédicaces

A mes parents,

Vous avez manifesté beaucoup de sacrifices afin de me voir grandir devant vos yeux. Aujourd'hui vient mon tour pour vous remercier en vous offrant ce travail qui est le fruit de vos sacrifices. Je vous dois toute ma vie, je vous souhaite une longue vie et parfaite santé.

A mes sœurs

J'apprécie beaucoup la grande affection que vous avez pour moi. A cette reconnaissance, je vous manifeste mon meilleur sentiment en vous offrant le fruit de mon travail, vous Saïda, Samia, ton mari Ramdane et tes enfants Ramila, Amina et Saïd.

Je tiens aussi à dédier ce travail à:

- *Ma grand mère et mon grand père*
- *Mes oncles maternels*
- *Toute la famille ACHOUR*

A mes très chers amis:

Samia, Farida ZEBOUJ, Farida, Nora, Souhila, Safia, Nassima, Lila, Wassila et Sadia.

A toute la promotion ETH 2011/2012 sans exception.

Wahiba

SOMMAIRE

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

Chapitre I : Etude bibliographique

I.1. Introduction.....	3
I.2. Processus de décharge de surface dans l'isolant solide.....	3
I.3. Loi de Toepler.....	4
I.4. Méthode de Lichtenberg.....	5
I.5. Travaux Mooroka.....	5
I.6. Processus de propagation des décharges glissantes	5
I.6.1. Décharges glissantes positives.....	5
I.6.2. Décharges glissantes négatives	6
I.7. Similarité de la décharge glissante avec la décharge de foudre	6
I.8. Paramètres influent sur les décharges de surface.....	7
I.8.1. Paramètres électriques	7
I.8.1.1. La résistivité superficielle	7
I.8.1.2. La permittivité relative	8
I.8.1.3. La rigidité électrique	8
I.8.2. Paramètres géométriques	9
I.8.2.1. L'état de surface de l'isolant solide	9
I.8.2.2. Le diamètre de l'électrode haute tension	9
I.8.2.3. Le diamètre de l'isolant solide	10
I.8.2.4. L'épaisseur de l'isolant solide	10

I.8.2.5. Rayon de courbure de la pointe	11
I.8.2.6. Influence de la forme de l'électrode	12
I.8.3. Les paramètres extérieurs	13
I.8.3.1. L pollution	13
I.8.3.2. Influence de type de tension appliquée	13
I.8.3.2.1. En tension alternative	13
I.8.3.2.2. En tension continue	14
I.8.3.3. La température	14
I.8.3.4. Humidité	14
I.9. Méthodes de mesure et de calcul de la charge de surface	15
I.9.1. Technique de mesure sans résolution spatiale	15
I.9.1.1. Méthode de stimulation thermique	15
I.9.1.2. Méthode utilisant un faisceau d'électron	15
I.9.2. Technique de mesure avec résolution spatiale	16
I.9.2.1. Méthode thermique	17
I.9.3. Méthodes acoustiques	18
I.9.4. Facteur d'une influence et interprétation des mesures	21
I.10. Méthodes de calcul de la charge de surface	22
I.10.1. Méthode de rectangle inférieur	22
I.10.2. Méthode de rectangle supérieur	23
I.10.3. Méthode du point milieu	23
I.10.4. Méthode des Trapèzes	24

I.11. Conclusion.....	24
-----------------------	----

Chapitre II : Montage expérimentale

II.1. Introduction	27
II.2. Source haute tension	27
II.3. Montage expérimentale	27
II.4. Courant de préclaquage et type de charge	28
II.4.1. Mesure de courant de préclaquage	28
II.4.2. Type de charge	28
II.5. Choix des matériaux isolants	29
II.5.1. Définition d'un isolant	29
II.5.2. Différents matériaux isolants	29
II.5.3. Définition d'un polymère	30
II.5.4. Polymérisation	30
II.5.5. Présentation des polymères étudiés	30
II.5.5.1. Polychlorure de vinyle PVC	30
II.5.5.1.1. Définition du PVC	30
II.5.5.1.2. Propriétés du PVC	31
II.5.5.1.3. Utilisation du PVC	31
II.5.5.2. Le polypropylène PP	31
II.5.5.2.1. Caractéristique du polypropylène	33
II.5.5.2.2. Utilisation du polypropylène.....	34
II.5.6. La résine	34

II.5.6.1. Résine Epoxy	34
II.5.6.2. Réalisation du mélange	35
II.6. Conclusion	35

Chapitre III : Résultats expérimentaux et interprétation

III.1. Introduction	37
III.2. Résultats et interprétations	37
III.3. Présentation des graphes	38
III.3.1. Influence de la tension appliquée et la couche d'air des isolants sur le courant maximum des décharges	38
III.4. L'influence de la permittivité du solide isolant sur le courant maximum des décharges.....	44
III.5. Association de la charge à une décharge électrique de surface.	46
III.5.1. Calcul de la charge associée à une impulsion maximum de courant.....	46
III.6. Influence de temps de vieillissement et l'état de surface du diélectrique sur le courant de décharge	52
III.7. Conclusion	54
Conclusion générale.....	56

Dans le domaine de génie électrique les matériaux isolants sont utilisés pour assurer une fonctionnalité optimale des équipements tout en garantissant la sécurité des biens et des personnes. Généralement, la durée de vie des isolants conditionne la durée de vie de l'appareillage. Cela explique les nombreuses études consacrées aux effets des contraintes électriques sur les polymères, ces matériaux qui, actuellement, prennent une place de plus en plus importante dans l'isolation [1]. En effet les polymères, de par leurs propriétés extraordinaires, ont toujours suscité un intérêt marqué dans beaucoup de domaines, aujourd'hui ils tendent à s'imposer de façon de plus en plus importante dans l'industrie électrotechnique. Cependant, ils ont des propriétés physiques et chimiques en volume pouvant être affectées durant leur fonctionnement [2].

En génie électrique, le vieillissement électrique est défini comme tout changement des propriétés du matériau qui affecte ses fonctions d'isolation. Il peut donc s'agir d'une modification de nature chimique ou physique induisant une modification des propriétés électrique dans un sens défavorable pour la pérennité des fonctions isolantes. Généralement on accepte de façon intuitive, et l'expérience le montre souvent que la durée de vie d'un matériau isolant dépend de l'intensité de la contrainte électrique subie par celui-ci mais également de la durée d'application de cette contrainte. [3]

L'étude faite dans ce présent mémoire se fixe pour objectif de comprendre l'effet de la charge associées à une décharge superficielle en polarité positive et négative sur les matériaux isolants électriques. Pour cela notre mémoire est composé de trois chapitres

Le premier chapitre est consacré pour les généralités sur les décharges électriques de surface et la charge de surface accompagnée des différentes méthodes de mesure et de calcul la charge de surface.

Le second chapitre présente le dispositif expérimental utilisé pour étudier le type de charge et les décharge de surface ainsi qu'à l'enregistrement du courant de décharge avec utilisation d'un oscilloscope à mémoire, les propriétés fondamentales des polymères utilisés (PVC, PP et résine Epoxy).

Dans le troisième chapitre nous présentons et analysons les résultats expérimentaux de mesure des courants de décharge pour les impulsions positives et négatives avec l'oscilloscope à mémoire et le calcul de la charge sur PVC, PP et la résine Epoxy en utilisant matlab ainsi que le vieillissement pour PP et la résine Epoxy.

En finalisant ce mémoire par une conclusion générale.

I.1. Introduction

Dans le domaine scientifique le phénomène de la décharge superficielle Occupe une place importante compte tenu des problèmes qu'elle pose dans le domaine de l'isolation, mais aussi les nombreuses applications industrielles dont elle fait l'objet.

La décharge électrique de surface désigne une décharge qui se produit en contact avec la surface d'un diélectrique solide placé dans un gaz ou liquide isolant [4]

Dans ce chapitre nous étudierons aussi la charge de surface ainsi que les différentes méthodes de mesure et de calcul de cette dernière.

I.2. Processus de décharge de surface dans l'isolant solide [4]

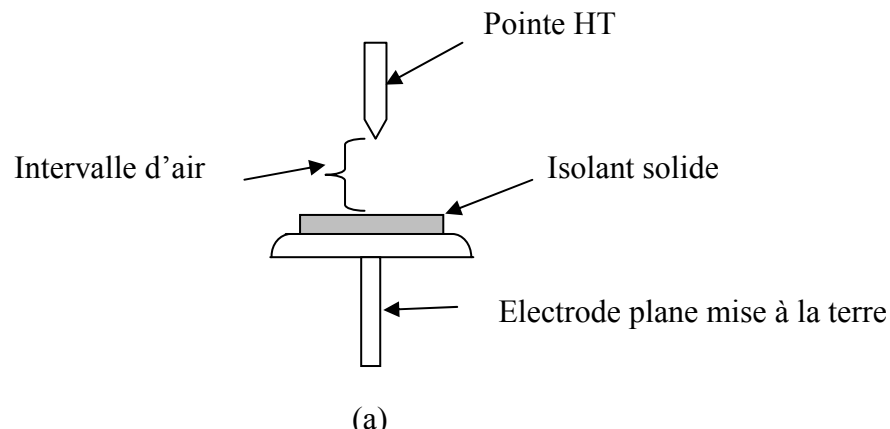
La décharge superficielle dépend de la polarité et du niveau de la tension appliquée selon la disposition et la forme des électrodes, elle se propage point par point à la surface d'un diélectrique quand la tension augmente.

On peut citer deux catégories de décharges qui se produisent à la surface d'un solide isolant

- Les décharges à barrières diélectrique «DBD» et la décharge glissante

a) La décharge à barrière diélectrique DBD où les isolants gazeux solides sont généralement en série entre les deux électrodes.

b) Les décharges glissantes où les deux électrodes sont toujours en contact avec la surface de diélectrique solide.



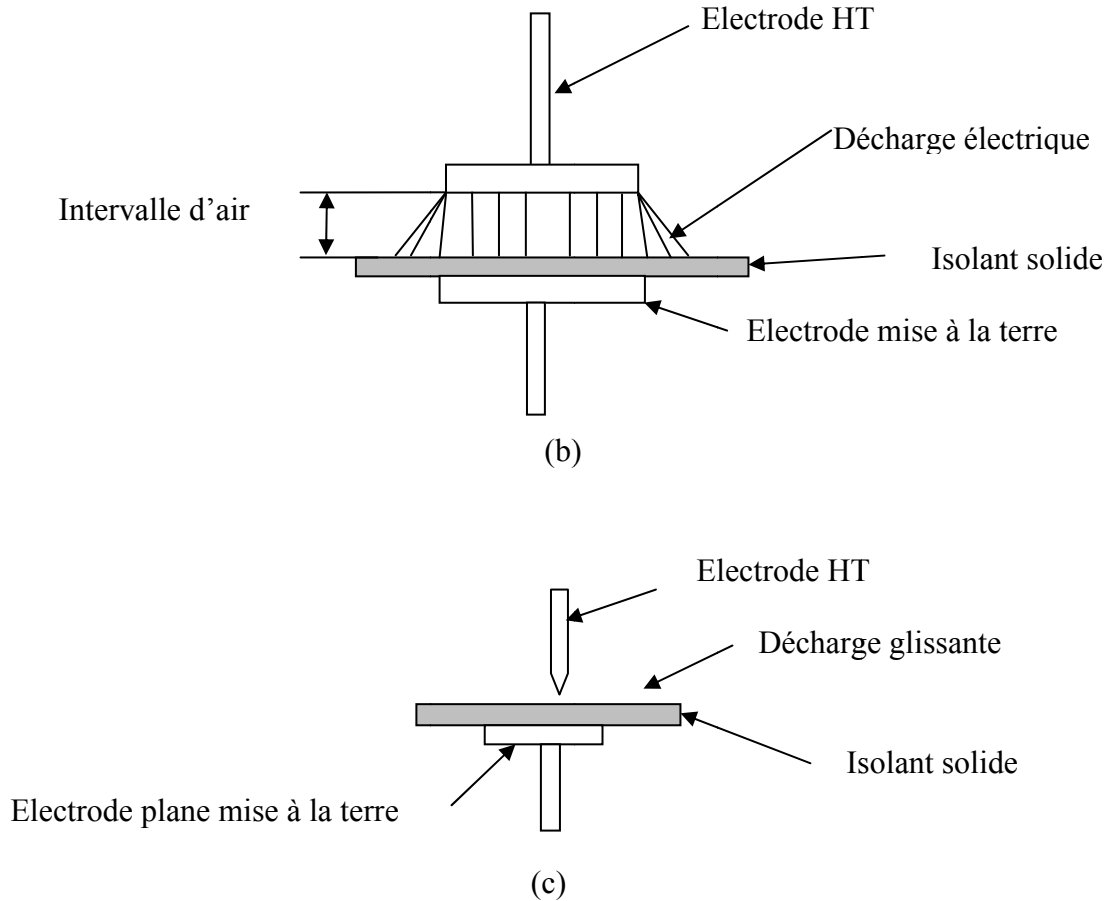


Fig. I.1 : Décharge de surface ;

- a) DBD (Pointe- plan) ;
- b) DBD (plan-plan) ;
- c) Décharge glissante.

I.3. Loi de Toepler [5]

En 1906, Toepler a utilisé un système pointe plan isolant et cette expérience lui a permis de constater l'existence de deux catégories distinctes d'étincelles, il appela dont la première catégorie gerbes polaires ou il a établi deux lois

-En polarité positive $V/r = 5.5 \text{ kV/Cm}$

-En polarité négative $V/r = 11.5 \text{ kV/Cm}$

Le rayon r de la gerbe polaire. Est proportionnel à la tension impulsionnelle V appliquée à l'électrode. La deuxième catégorie d'étincelle il l'appela gerbes glissantes il donna la deuxième loi

$$\frac{\epsilon_0 \epsilon_r V_s}{e} = cste$$

Où

e : épaisseur de l'isolant solide [cm].

ϵ_0 : permittivité du vide [A.s/V.cm].

ϵ_r : permittivité relative.

I.4. Méthodes de Lichtenberg: [6] [7]

Lichtenberg utilise deux poudre polarisable (mélange de PB_3O_4 et de soufre jaune pâle) ces poudres changent leurs état sur la surface isolante :

-Les particules de la poudre rouge (chargées positivement) s'attachent aux charges négatives et les jaunes chargées négativement s'attachent aux charges positives et cette méthode permet d'enregistrer l'étendu du développement du streamers sur la surface isolante ainsi que la distribution des particules chargées.

I.5. Travaux Mooroka [5]

Mooroka et ses coéquipiers ont utilisé la figure de Lichtenberg (Technique dust figure) avec un générateur à impulsion carrés dans les conditions suivantes : En faisant varier la tension appliquée de 5 à 20 kV et la pression du gaz de 50, 100, 150.....760 mm Hg.

Cette méthode a comme avantage de permettre de mesurer la vitesse de développement des décharges négatives sur les plaques isolantes.

I.6. Processus de propagation des décharges glissantes [8]

La propagation et le développement des décharges glissantes dépendent de la polarité de l'électrode active et du type de la tension appliquée.

-Si on augmente la tension appliquée il ya apparition d'effet couronne, ce dernier se produit lorsque l'intensité du champ aux alentours de cette électrode dépasse la rigidité diélectrique de l'air. Les porteurs de charge produits par effet couronne sont concentrés à la surface de l'isolant solide.

Si la tension est plus importante, des canaux de plasma ou filets lumineux apparaissent. Ces derniers possèdent à leurs extrémités une concentration de charge de la polarité donnée.

En fonction de la polarité de l'électrode active il existe deux types de décharges superficielles :

- En pointe positive, on obtient des «décharges superficielles positives».
- En pointe négative, on obtient des « décharges superficielles négatives».

Dans le cas où la tension appliquée est alternative la décharge de contournement est une décharge superficielle positive.

I.6.1.Décharges glissantes positives [8]

Les décharges glissantes positives se propagent suivant deux processus différents. En effet, pour des distances inter-électrodes allant de 0.4 à 1cm le processus de propagation est appelé processus C ; et pour des distances inter-électrodes supérieures à 2.5cm il est appelé processus A.

I.6.2.Décharges glissantes négatives [9]

Le phénomène a été étudié par « N. Essam ». Ses expériences consistent à l'utilisation d'un système tige-plan où il a inséré un film photographique sous l'électrode pointe à différentes distances de cette dernière.

En positionnant le film à une distance égale à zéro, on observe des décharges en forme de plumes entourant une surface lumineuse. Cette dernière caractérise l'ionisation de l'air pour la pointe négative. Ces plumes ont de larges extrémités diffuses, d'une intensité non uniforme. Elles fusionnent entre elles pour former une seule zone lumineuse où les branches ne peuvent pas être distinguées.

En plaçant le film à une distance d'un centimètre de l'électrode, on obtient des figures où le volume d'ionisation est réparti en plusieurs troncs qui s'étendent autour de la pointe, quelque plumes ramifiées se développent en dépassant les autres. Elles ont initialement la même intensité lumineuse que les troncs et s'affaiblissent en s'éloignent de la partie centrale.

En augmentant la distance de placement du film de fines plumes sont observées. Elles diminuent considérablement en nombre et longueur. Cependant, les troncs deviennent plus vagues et s'étendent sur une large surface, plus loin ils se rattrapent et leur nombre diminue pour ne former qu'une masse lumineuse autour de l'électrode. Comme dans la décharge positive deux processus distincts sont observés : le processus A et le processus C. [9]

I.7.Similarité de la décharge glissante avec la décharge de foudre [5]

En étudiant les décharges glissantes, on remarque qu'on peut les considérer comme un modèle réduit bidirectionnel du phénomène atmosphérique car leur propagation visuelle est similaire à celle de la foudre, mais ce n'est pas en ce seul aspect optique que les similitudes entre les deux phénomènes existent. En effet, les deux décharges se propagent sur de longues distances sous l'effet d'un champ électrique faible vis-à-vis du champ disruptif. Ajouter à cela, la transition de la décharge lumineuse d'arc est réalisée par étape ou par bond, et aussi l'ordre de grandeur des courants et des vitesses de propagations est la même ($I=50A$; $V=10^6m/s$), ainsi que le processus de propagation est identique dans le cas des deux décharges.

I.8.Paramètres influent sur les décharges de surface

Des études expérimentales ont montré que plusieurs paramètres peuvent influencer le développement de la décharge superficielle dans un système d'électrodes.

I.8.1. Paramètres électriques

I.8.1.1.La résistivité superficielle [8] [10] [11]

La variation de ce paramètre a des conséquences importantes au niveau des pertes diélectriques. La définition de ce paramètre nous emmène à définir sa résistivité superficielle. En effet, la résistance superficielle (R_s) mesurée entre les deux électrodes est le rapport de la tension continu appliquée par le courant qui parcourt la mince couche de l'humidité qui pourrait exister à la surface de l'isolant, et dans les couches superficielles de ce dernier.

D'où la définition de la résistivité d'un matériau isolant comme étant une résistance superficielle par unité de la surface, elle s'exprime en $\Omega.cm$.

$$\rho_s = R_s.S/d$$

Où :

R_s : Resistance superficielle [Ω]

S : section de l'électrode [cm^2]

d : Distance inter électrode [cm]

A.Kawshim et S.Holt ont montré que la tension d'apparition de la première décharge glissante dépend surtout de la résistance superficielle de l'isolant solide.

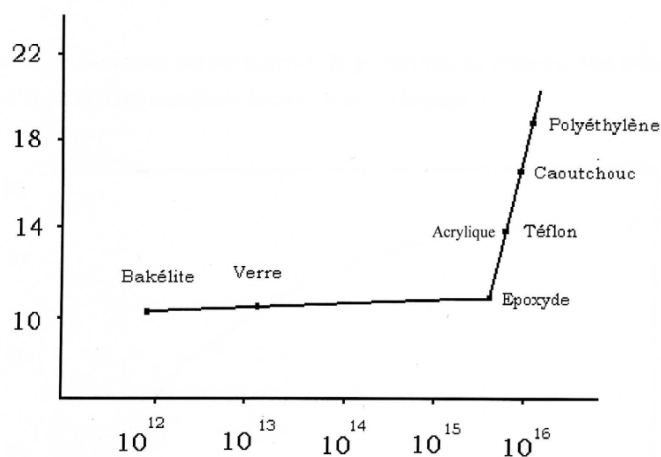


Fig. I.2. Tension d'apparition de décharge glissante en fonction de la résistance de la surface

(Echantillon d'épaisseur $e=1mm$)

I.8.1.2. La permittivité relative [10] [15]

La permittivité relative caractérise les propriétés macroscopiques du matériau ; lorsqu'un diélectrique est soumis à l'action du champ électrique, il se produit à l'échelle moléculaire diverses modifications, qui ont pour effet de créer un champ électrique extérieur comme dans le cas d'un milieu conducteur.

D'après la deuxième loi de Toepler, il existe une relation entre l'épaisseur et la permittivité du diélectrique de la plaque isolante. Lorsque la tension appliquée sur l'électrode pointe dépasse un certain seuil ($V_{\square_s}$), celle-ci est en fonction de la capacité surfacique du matériau diélectrique qui suit une loi de la forme :

$$\epsilon_0 \epsilon_r V_s^2 / e = \text{cste}$$

Pour les étincelles en polarité é négative, se propageant sur une surface de plexiglas et une surface de verre, en tenant compte de leurs permittivités relatives respectivement ($\epsilon_r = 3$, $\epsilon_r = 6$), la deuxième loi de Toepler s'écrit :

- Pour le plexiglas : $V_s' \text{ (kV)} = 69 \sqrt{e}$ e en cm
- Pour le verre : $V_s' \text{ (kV)} = 48.5 \sqrt{e}$ e en cm

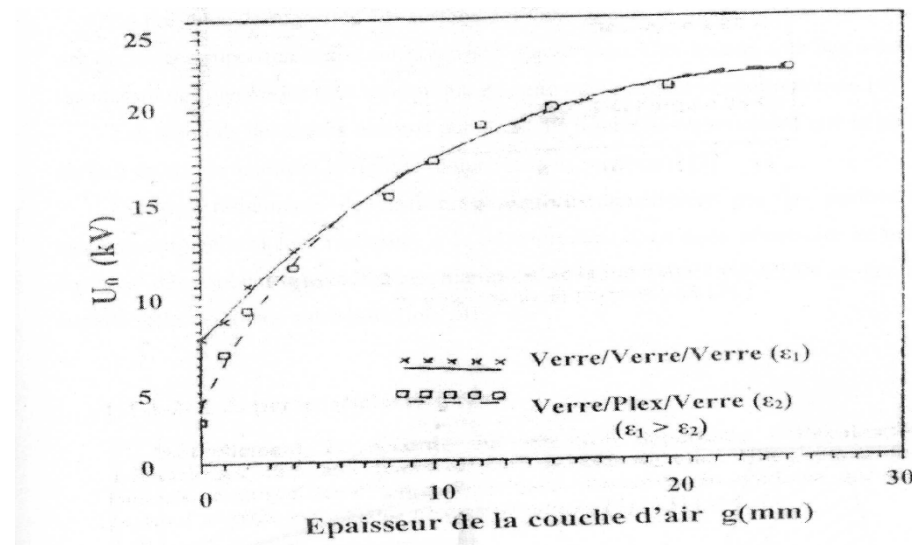


Fig. I.3. Influence de la permittivité sur la tension d'apparition des impulsions de courant de préclaquage [12]

I.8.1.3. La rigidité diélectrique

La rigidité diélectrique est la propriété d'un diélectrique de s'opposer à la décharge disruptive. Cette valeur s'évalue par l'intensité du champ électrique susceptible de conduire à la décharge disruptive. [6]

La rigidité diélectrique est définie comme étant le rapport de la tension électrique minimum disruptive et la distance inter électrodes, dans le cas d'un champ uniforme : [5]

$$E_d = U/d \quad \text{V/m}$$

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

I.8.2. Paramètres géométriques

I.8.2.1. L'état de surface de l'isolant solide [13]

Certains traitements de surfaces, quoiqu'ils n'améliorent pas leurs performances, augmentent leurs résistances à la détérioration, il est donc nécessaire de nettoyer les surfaces des isolants avant chaque manipulation pour éviter les débris et les impuretés superficielles ou toutes autres pollutions.

I.8.2.2. Le diamètre de l'électrode haute tension [12]

La figure (I.4) montre la variation de la tension d'application de la décharge superficielle et la tension de claquage en fonction de diamètre de l'électrode haute tension.

On note que la tension augmente avec l'augmentation du diamètre, cette augmentation est due à la diminution de la concentration du champ avec le diamètre de l'électrode active.

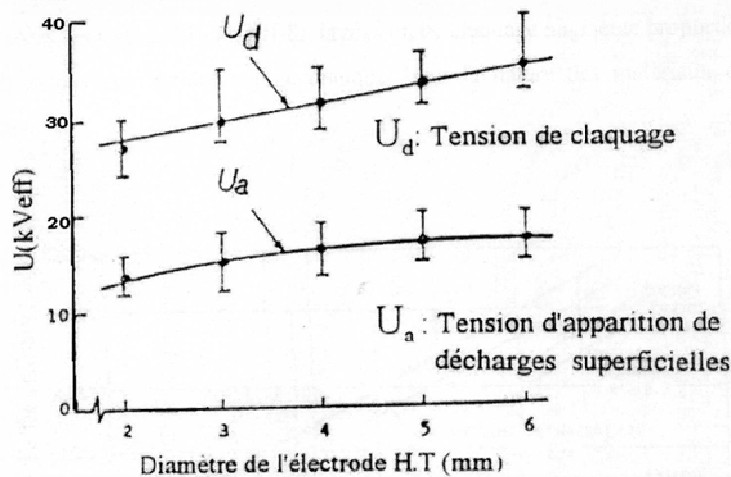


Fig. I.4. L'influence du diamètre de l'électrode HT sur la rigidité diélectrique du système Solide/air [12]

I.8.2.3. Le diamètre de l'isolant solide

La figure (I.6) montre la variation de la tension de décharge en fonction de l'épaisseur efficace (e/ϵ_r) et de la marge M , cette augmentation est due à l'allongement de la ligne de fuite.

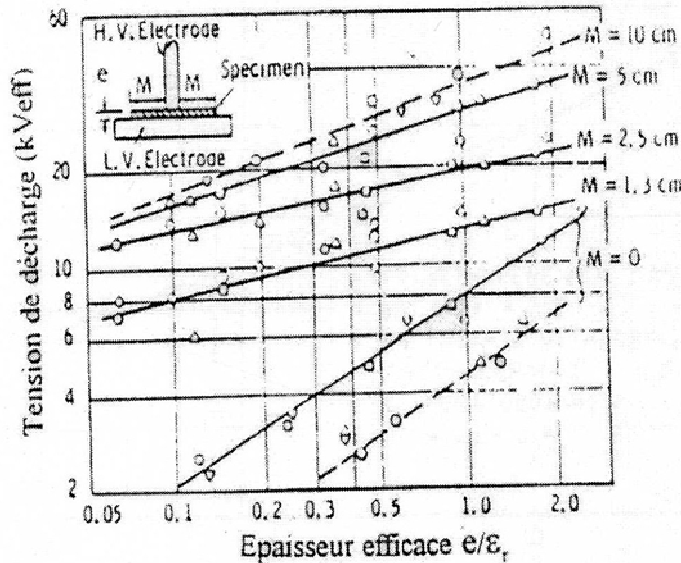


Fig. I.5. Tension de décharge en fonction de l'épaisseur efficace (e/ϵ_r) pour différentes valeurs de la marge M . [18]

I.8.2.4. L'épaisseur de l'isolant solide [12] [14]

L'épaisseur d'un isolant influe sur la rigidité diélectrique d'un système, cette influence varie selon la nature de la tension appliquée et de la nature du matériau (permittivité).

On constate que la tension de seuil augmente avec l'épaisseur quelque soit la nature du matériau et la distance inter électrodes.

En générale, la rigidité des systèmes composés solides/air s'exprime en fonction de l'épaisseur efficace (e/ϵ_r), et cela, d'après Dakin, Grzybowski et Kuff, Taher et Eich, celle-ci augmente avec l'épaisseur de l'isolant solide, quelque soit la nature de la tension appliquée et du matériau (figure I.6, I.7)

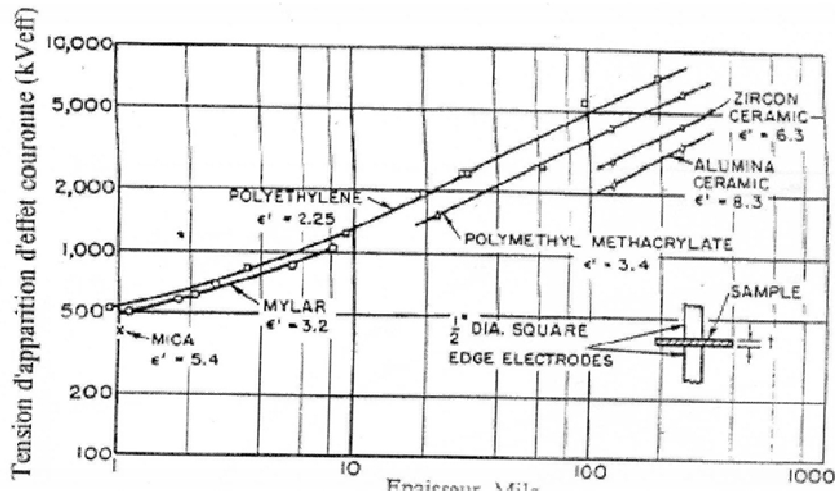


Fig. I.6 Tension d'apparition des décharges couronne en fonction de l'épaisseur pour différentes valeurs de la permittivité [12]

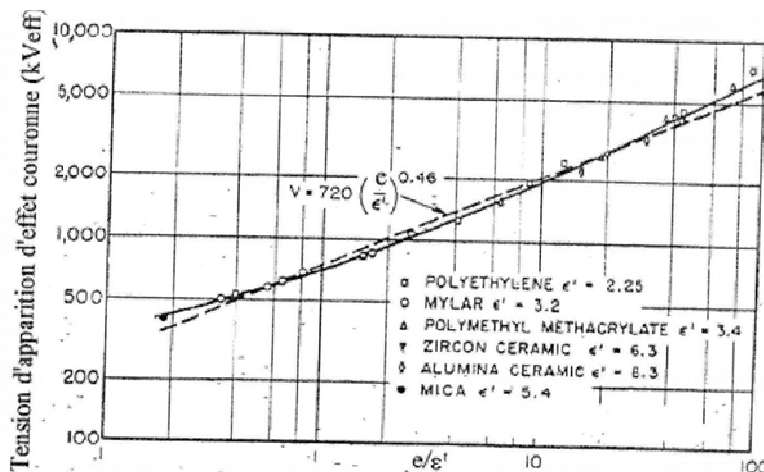


Fig. I.7. Tension d'apparition de décharge couronne en fonction de l'épaisseur efficace (e/ϵ_r) [12]

I.8.2.5. Rayon de courbure de la pointe [7] [12]

D'après les deux figures I.8 et I.9, on peut constater que la rigidité diélectrique d'un intervalle d'air, avec et sans isolant solide est d'autant plus grande que le rayon de courbure de la pointe est grande. Ceci est dû au fait que le champ électrique au niveau de la pointe, diminue avec l'augmentation du rayon de courbure de la pointe

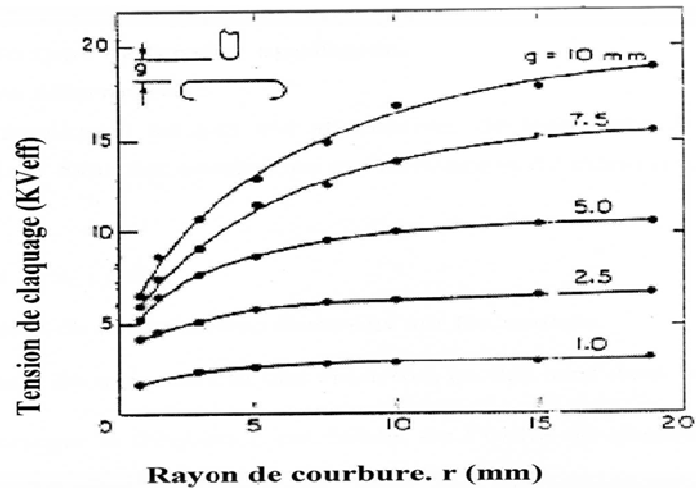


Fig. I.8. Influence du rayon de courbure de la pointe sur la rigidité diélectrique d'un intervalle d'air [12]

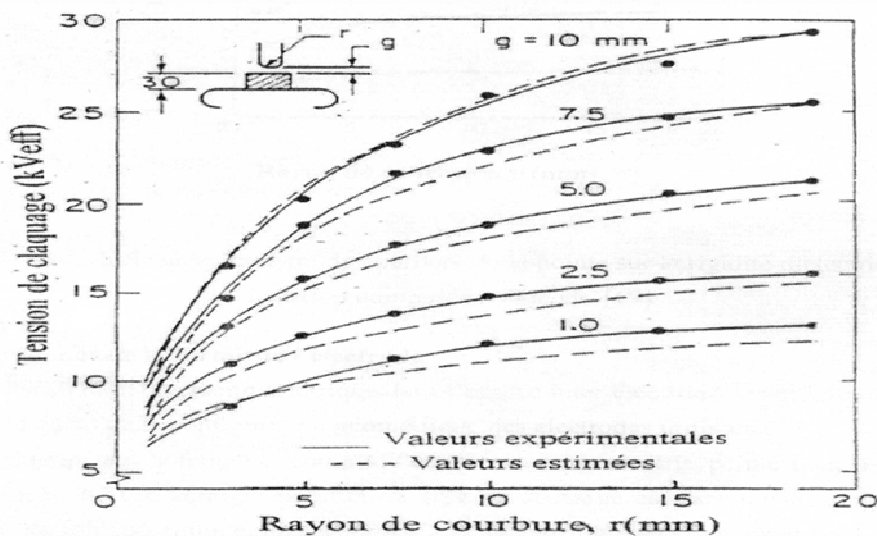


Fig. I.9. Influence du rayon de courbure de la pointe sur la rigidité diélectrique d'une isolation composée solide/air [12]

I.8.2.6. Influence de la forme de l'électrode [14]

La distribution du champ électrique dans l'espace inter-électrode avant l'amorçage de la décharge, dépend de la configuration géométrique des électrodes utilisées.

En champ non homogène, comme c'est le cas en géométrie pointe-plan, la décharge couronne présente une zone de stabilité, ce type de décharge est caractérisé par une tension de seuil V_s de son application et une tension V_a de sa transition vers l'arc électrique.

En champ homogène dès son apparition, la décharge transite rapidement vers l'arc électrique autrement dit la décharge couronne existante pas et les tensions V_s et V_a sont confondues.

I.8.3. Les paramètres extérieurs

I.8.3.1. La pollution

Elle concerne beaucoup plus les régions industrielles. La tenue de l'isolant se dégrade avec l'augmentation du taux de pollution, ce qui diminue la résistance superficielle de l'isolant, surtout lorsque ces poussières, humidifiées par brouillard ou la pluie, forment un film conducteur à la surface de l'isolant, et ceci engendre l'augmentation des courants de fuite sur la surface de l'isolant favorisant ainsi le claquage. [13]

I.8.3.2. Influence de type de tension appliquée

I.8.3.2.1. En tension alternative

Si la tension appliquée au gaz est alternative, de fréquence $f = \omega/2\pi$, la décharge s'établit et se maintient dans des conditions qui dépendent de manière critique de la valeur des rapports [16]

$$\omega/f \text{ et } x_{e,i}$$

Avec : ν fréquences de collision des électrons sur les neutres.

$x_{e,i}$ Amplitude du mouvement des électrons ou des ions dans le champ alternatif.

$\omega \ll f$ Lorsque la fréquence est faible, de l'ordre de quelque dizaine d'hertz, la décharge s'inverse à chaque demi-période, avec des caractéristiques peu déformantes de ce qu'elles sont en régime continu. Si f augmente de manière telle que $x_i < d < X_e$, une charge d'espace positive s'établit, entraînant une distorsion du champ électrique qui tend à réduire le potentiel de claquage, [16]

Lorsque la pulsation tout en restant inférieure à ν , atteint des valeurs telles que $x_e < d$, la plupart des électrons oscillent entre les électrodes sans être collectés par celles-ci. S'ils gagnent entre deux chocs ou de manière cumulative, une énergie cinétique supérieure au potentiel d'ionisation, V_i , du gaz la décharge fonctionne sans qu'aucun courant moyen le traverse les phénomènes décrit aux électrodes dans le cas du fonctionnement continu, disparaissent. [16]

$\omega \gg f$ Dans ce cas, la conductivité du plasma est essentiellement imaginaire. Les électrons sont en quadrature de phase avec le champ appliqué de sorte qu'aucune énergie ne leur est transférée. Comme précédemment, la décharge ignore les électrodes, la partie lumineuse reste alors localisée au centre du tube. [16]

I.8.3.2.2. En tension continu**a) pointe négative**

Pendant la décharge les ions positifs accumulés sur la surface de l'isolant exercent une force d'attraction sur les électrodes, ce qui diminue leur vitesse en se déplaçant vers l'anode. Ainsi la vitesse des streamers diminue et ils disparaissent si l'attachement l'emporte sur l'ionisation, par conséquent la décharge superficielle s'arrête à une distance de la pointe où $\alpha-\eta=0$. On obtient des décharges glissantes plus petites que celle en pointe positive [17]

b) Pointe positive

La charge d'espace positive accumulée sur la surface de l'isolant forme un prolongement de la pointe. Le champ créé par ces charges renforce le champ extérieur. On obtient ainsi des décharges glissantes plus longues que celles obtenues en pointe négative. [17]

I.8.3.3. La température

Il est difficile d'établir une relation cohérente entre le champ disruptif et la température. Ce qui est évident, c'est la décroissance rapide du champ disruptif pour les matériaux à température élevée. Cette décroissance est due à la croissance de la mobilité des particules chargées avec l'élévation de la température et à l'augmentation de l'énergie thermique. [12]

I.8.3.4. Humidité (dans l'air sans interfaces)

La variation de la rigidité diélectrique d'une isolation solide/air en fonction de l'humidité n'est pas une fonction linéaire. La tension d'apparition des décharges superficielles est réduite de 25% quand l'humidité dépasse 75%. D'après Halfield et Keffel, l'humidité améliore la rigidité diélectrique du système quand elle est de l'ordre de 40%. L'amélioration de la rigidité est due au fait que l'humidité favorise le phénomène d'attachement [12]

On constate que lorsque le taux d'humidité augmente tout en restant inférieure à 75% la tension de décharge augmente. En effet les électrons libres dans l'air deviennent des centres de condensation de vapeur d'eau, leurs masses augmentent et ils perdent leur mobilité, donc leur pouvoir d'ionisation d'une façon générale.

I.9. Méthodes de mesures et de calcul de la charge de surface [15]

Nous appellerons la charge d'espace l'ensemble des charges réelles, positives ou négatives contenu dans un isolant, ce qui inclut les charges de surface et de volume. Nous désignerons par ρ_c la densité volumique de ces charges que nous supposerons variables uniquement selon la direction z

I.9.1. Technique de mesure sans résolution spatiale

Il ya deux méthodes de mesures permettant d'accéder à des informations relatives aux charge d'espace.

I.9.1.1. Méthode de stimulation thermique [15]

Cette méthode implique la décharge d'échantillon (l'état électrique final de l'objet est différent de l'état électrique initial). Elle consiste à augmenter linéairement la température de l'échantillon polarisé en mesurant le courant de décharge dont il contient des informations relatives à la libération des décharges piégées au réarrangement des dipôles électriques.

Elle est connu depuis 25ans, cette technique est parmi les premières qui ont permis la mise en évidence des charges dans l'isolant, elle est toujours utilisée. Bien qu'il existe des très nombreuses variantes.

Dans la pratique les spectres sont souvent complexes et mal séparés. La méthode est bien adaptée à l'étude des phénomènes de polarisation mais les moins pour l'étude des charges d'espace, et ce pour deux raisons majeurs :

- Le court circuit réalisé avant chauffage conduit à l'évacuation d'une fraction des charges piégées, en particulier celle qui est proches des électrodes.
- Des phénomènes de recombinaison des charges pouvant s'effectuées sont données lieu à un courant mesurable.

On ne mesure donc qu'une fraction des charges initialement piégées dans l'isolant. La méthode ne permet pas une évaluation quantitative précise de la nature des charges et des niveaux énergétiques des pièges.

I.9.1.2. Méthodes utilisant un faisceau d'électron [15]

Dans la « méthode dite du miroir » développée depuis les années 1990, on utilise un faisceau électronique de forte énergie afin d'implanter des charges électriques dans un isolant placé dans la chambre d'observation d'un microscope à balayage.

On étudie ensuite l'état de la charge crée en utilisant un faisceau de faible énergie (tension de 200 à 50000 V) dont la trajectoire est déviée par l'existence des équipotentiellel dûes

à la charge implantée. Il apparaît sur l'écran de microscope électronique, l'image déformée de la chambre d'irradiation elle-même d'où l'appellation de «méthode miroir».

L'étude des déviations du faisceau électronique permet de remonter jusqu'à la densité des charges d'espaces.

L'augmentation de la tension d'accélération du faisceau électronique d'observation conduit à des piégeages des charges électriques qui sont effectif au moment de la disparition de l'image «miroir». Dans certaines conditions critiques, la rupture diélectrique est amorcée par une brusque déstabilisation de l'état de charge du matériau.

Cette méthode permet d'étudier de la quantité de charge maximale susceptible d'être stockée dans un isolant ainsi que dans la dynamique des piégeages induit par différents types de sollicitation (thermique, électrostatique, mécanique, etc.).

I.9.2. Technique de mesure avec résolution spatiale [15]

Un effort de recherche considérable a été dédié à la mise au point de ces techniques développées depuis les années 1980.

Dans la plupart des méthodes, on provoque un déplacement relatif des charges par rapport aux électrodes de mesure. La charge d'influence est ainsi modifiée est un signal proportionnel à la charge interne apparaît sur les électrodes comme décrit la fig. (I.11) Ce signal se traduit par l'apparition d'une variation de tension aux bornes de l'échantillon dans le cas d'un circuit ouvert, ou d'une variation du courant si la mesure est en circuit fermé.

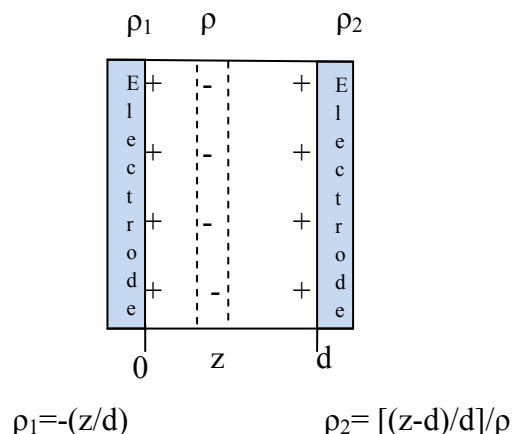


Fig. I.10. Charge d'influence générée pour les électrodes par un plan de charge de densité

ρ situé à la performance à la profondeur z dans l'isolant.

Le déplacement relatif des charges des charges est provoqué par une perturbation extérieure appliquée à l'échantillon de telle sorte qu'elle modifie de façon non uniforme sa dimension transversale, cette dernière condition étant nécessaire à l'obtention d'une réponse électrostatique par déformation d'un matériau chargé. On doit de plus connaître la forme et l'évolution temporelle de la perturbation pendant la mesure.

Nous distinguerons entre les méthodes thermiques et les méthodes acoustiques en fonction de la nature de la perturbation utilisée (thermique ou acoustique) ou du signal détecté (électrique ou acoustique).

I.9 .2.1. Méthode thermique [15]

Le déplacement relatif des charges par rapport aux électrodes est contrôlé par dilatation non uniforme du milieu isolant provoqué par une élévation locale de la température sur l'une des faces de l'échantillon. On distingue trois groupes de technique en fonction de la méthode employée pour apporter la chaleur à l'échantillon.

- Dans la méthode de l'impulsion thermique l'une des électrodes est soumise à une impulsion lumineuse, le plus souvent délivrée par un faisceau laser.
- Dans la méthode de modulation thermique, l'amplitude du faisceau laser est modulée sinusoïdalement à différentes fréquences.
- Dans la méthode de l'échelon thermique on réchauffe une face de l'échantillon par rapport à l'autre en établissant une différence de température constante entre les deux électrodes, par exemple par circulation d'un liquide thermostatique.

Dans les trois cas considérés l'énergie absorbée au niveau des électrodes diffuse dans l'échantillon est générée une expansion thermique en même temps que des modifications de la permittivité du matériau.

La différence majeure entre les trois méthodes thermique concerne la quantité de chaleur mise en jeu. Elle est très faible dans les deux premières méthodes et ne correspond qu'à une élévation de température de quelque fraction de degré.

Les courants pyroélectriques générés dans les régions éloignées de quelques dizaines de microns de l'électrode chauffée deviennent rapidement détectable, en conséquence ces deux méthodes sont limitées à l'étude de films minces. La méthode de l'échelon thermique mise en jeu des quantités de chaleur beaucoup plus importante puisqu'on maintient une différence de température de l'ordre 30°C entre les électrodes durant toute la durée de la mesure (plusieurs minutes), ce qui lui confère un avantage certain pour l'étude des échantillons épais.

-Dans le cas d'une mesure en court-circuit, le courant en fonction du temps a pour expression :

$$I(t) = \frac{A}{d} \int_0^d B(z) \left(\frac{\partial T(z, t)}{\partial t} \right) dz$$

Avec : A: surface de l'échantillon

d : son épaisseur selon la direction de mesure z

T (z, t) : température en un point de coordonnées z au temps t

$B(z)$: fonction complexe qui contient la distribution de charge $p(z)$ recherche est différent paramètres thermique du matériau (coefficient de dilatation pyroélectrique, de température de la constante diélectrique)

Cette relation montre que la connaissance du courant $I(t)$ et du profile de température $\frac{\partial T(z,t)}{\partial t}$ permis par déconvolution, de déterminer la fonction $B(z)$.

I.9.3. Méthodes acoustiques [15]

On en distingue trois grandes classes en fonction de la façon dont on utilise les ondes acoustiques dans tous les cas, l'élasticité du matériau est impliquée à travers la propagation d'une zone comprimée.

Le déplacement de cette zone à la vitesse du son conduit à la modification des charges images sur les électrodes lorsque les ondes acoustiques sont utilisées comme élément perturbateur de la position relative des charges vis-à-vis des électrodes (méthode de l'impulsion de pressions et l'échelon de pression).

Dans la méthode dite électroacoustique, les ondes acoustiques sont générées par la brutale modification de la position des charges par une impulsion de tension appliquée à l'échantillon. Les ondes acoustiques sont ensuite détectées et utilisées pour localiser les charges.

Dans la méthode de l'échelon de pression la sollicitation est générée par application d'un échelon de tension à un transducteur piézo-électrique maintenu en contact intime avec le diélectrique.

Dans la méthode de l'impulsion de pression, la perturbation peut être générée par un transducteur piézo-électrique existé par une tension impulsionnelle, mais on utilise le plus souvent un tir laser effectué sur l'une des électrodes.

Les lasers utilisés (quelques mJ à quelques centaines de mJ) ont des impulsions de durées compressées entre 10µs et 10 ns.

Si la mesure est effectuée en circuit fermé, le courant en fonction du temps a pour expression :

$$I(t) = \chi C G(\epsilon) \int_0^d E(z) E(z) \frac{\partial P(z,t)}{\partial t} dz$$

Avec : χ : compressibilité du matériau

C : capacité de l'échantillon non comprimé

$G(z)$: facteur lie à la sensibilité du matériau à la pression

$E(z)$: champ électrique à la profondeur z

$P(z, t)$: pression à l'instant t à la profondeur z

Le tableau ci-dessous résume les méthodes de mesure citées précédemment

Tableau 2 : Caractéristiques principales des méthodes les plus développées pour la mesure de la répartition spatiale des charges d'espace selon une direction d'analyse						
	Méthodes thermiques			Méthodes acoustiques		
Nom de la méthode (Appellation anglo-saxonne)	Impulsion thermique (Thermal pulse)	Modulation Thermique (1) (Laser induced modulated method)	Echelon Thermique (Thermal step)	Impulsion de pression (Laser induced pressure pulse)	Echelon de pression (pressure step)	Electroacoustique (Pulsed electroacoustic method)
Année d'émergence [réf] (2)	1975[23,24]	1981[25,26]	1987[27,28]	1977[29,30]	1982[31]	1985[32,33]
Nature de la perturbation et mode de génération	-Dilatation -Impulsion laser de courte durée devant le temps de relaxation thermique	- Dilatation - Faisceau laser modulé en amplitude à différentes fréquences	- Dilatation - Brusque modification de la température entre les électrodes de mesure	- Compression - Impulsion laser de courte durée devant le temps de transit acoustique	- Compression - Echelon de compression généré par effet piézo-électrique sur un cristal	-Champ électrique -Impulsion de tension appliquée à l'échantillon
Qualité mesurée	Réponse électrique par effet pyroélectrique			Réponse électrique par effet piézo-électrique		Réponse acoustique
Rapport signal/bruit	Faible	-Faible -Intégration de la réponse	-Important -lecture sur mesure unique	-Faible -Intégration de la réponse possible car perturbation reproductible		

CHAPITRE I Etude bibliographique

Etude bibliographique

		pyroelec trique				
Traitement mathématique	Première analyse possible sans déconvolut ion	Déconvolution toujours nécessaire	Déconvolution non nécessaire dans certains cas			
Résolution spatiale typique	-Position de centroïde des charges - Excellente s près de la surface chauffée (≤1μm)	Bonne près de la surface chauffée (1μm- 10μm) moins bonne dans le volume	Limite aux électrodes, bonne dans le volume (10μm- 100μm) avant déconvolution (1μm-10μm) âpres déconvolution			
Rapidité des mesures	Méthodes lentes (1min- 100min)		Méthodes rapides (1μs-10μs)			
Type d'échantillons	Films minces (< 1μm-100μm)		Films, plaque (10μm- 1cm)		Films épais, plaques (100μm- 1cm)	
Equipement nécessaire	Sophistiqu é	Peu sophistiqué		Très sophistiqué	Sophistiqué	
Domaine d'application spécifique	Composants en microélectrique, films minces		Câbles, condensateurs, films et plaques			
Commentaires	Seules méthodes à développement potentiel pour l'étude de films minces dans le domaines micronique et submicronique		- Sensibili té importa nte - Difficult é de détermi nation du champ	-Avantage des lectures sans déconvoluti on - Possibilité de mesure à cadence élevée, donc avec résolution	-Méthode peu pratique	-Possibilité de mesures à cadences élevée, donc avec résolution temporelle dans le domaine des temps courts

		interracial - Pas de résolution temporelle dans le domaine des temps courts	temporelle dans le domaine des temps courts		
(1) Les méthodes de modulation thermique et d'impulsion de pression ont été comparées dans [34]. (2) Pour chaque méthode, on donne les références du premier article publié et d'une publication plus récente.					

I .9.4. Facteur d'une influence et interprétation des mesures [15]

Les paramètres physique du matériau définissant ses caractéristiques d'interface et de volume sont impliquées à travers l'affinité électronique, la densité de piège, leur distribution en énergie, etc.

Tous les facteurs expérimentaux susceptibles de jouer un rôle dans la modification de ces paramètres sont donc potentiellement influent .

Les condition de préparation des échantillons sont elles mêmes importantes et des recommandation ont été formulées par les comités d'experts ,recuit pour éliminer les défauts, nettoyage de surfaces pour éliminer la contamination, précaution au niveau de la métallisation des échantillon, etc.

La comparaison entre ces différents résultats de mesure doit se faire avec la plus grande prudence et l'on ne doit jamais perdre de vue qu'une distribution particulière doit être considérée de façon critique en prenant en compte :

- Le principe de la mesure car chaque méthode a ses propres limitation.
- Les caractéristiques propres de chaque dispositif de mesure ces éléments étant en générale communiqués dans les publications.
- La nature du matériau teste, car des isolants regroupés sous la même terminologie (polyéthylène basse densité, polyéthylène réticulé) peuvent se comporter très différemment (importance de la microstructure, de la nature des additifs, etc.)

- La nature des échantillons l'épaisseur des films (quelques μm ou quelques mm) et de types d'électrodes (métalliques, semi-conductrice)
- Les conditions de polarisation, même si la contrainte envisagée est identique (tension continue), car elles sont le plus souvent différentes (durée de la mise sous tension, procédure d'application des contraintes).
- Les conditions de la mesure : Certaines acquisitions sont réalisées sous contraintes électriques, alors que dans la grande majorité des cas, l'isolant mis en court-circuit pendant un certain intervalle de temps avant la mesure.
- La présentation des résultats : Définition plus au moins précise des limites de l'isolant, nature de l'information communiquée (déplacement électrique, densité de charge, signal deconvolué ou non).

De plus un matériau dit neutre ne signifie pas qu'il ne contient pas de charges électriques, mais qu'elles sont compensées localement.

Les méthodes citées précédemment ne détectent pas tous les phénomènes luminescence observés dans les régions de charges d'espaces. Ces méthodes donnent seulement le bilan net des charges.

I.10. Méthodes de calculs de la charge de surface [16]

Ces méthodes servent à calculer la charge de surface par intégration en effet $Q = \int t dt$

I.10.1. Méthode de rectangle inférieur

Dans le cas général on applique cette loi

$$\int_a^b f(x) dx = \sum_{i=0}^{n-1} (a_{i+1} - a_i) \cdot f(a_i)$$

On prend comme exemple la figure ci-dessous

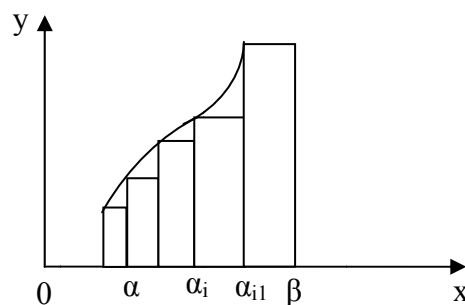


Fig. I.11. Méthode des rectangles inferieurs

L'inconvénient de cette méthode est l'existence d'une partie manquante qui n'a pas été calculé

I.10.2. Méthode rectangle supérieur

Dans le cas général on applique cette loi

$$\int_a^b f(x) \cdot dx = \sum_{i=0}^{n-1} (a_{i+1} - a_i) \cdot f(a_{i+1})$$

On prend comme exemple ci-dessous

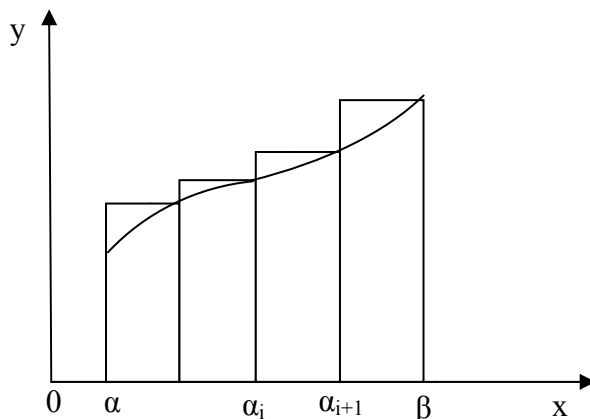


Fig. I.12. Méthode des rectangles supérieurs

L'inconvénient de cette méthode est l'existence d'une partie supplémentaire qui a été calculé.

I.10.3. Méthode du point milieu

Dans le cas général on applique la loi suivante

$$\int_a^b f(x) \cdot dx = \sum_{i=0}^{n-1} (a_{i+1} - a_i) \cdot f\left(\frac{a_i + a_{i+1}}{2}\right)$$

Le principe de la méthode est représenté sur la figure suivante

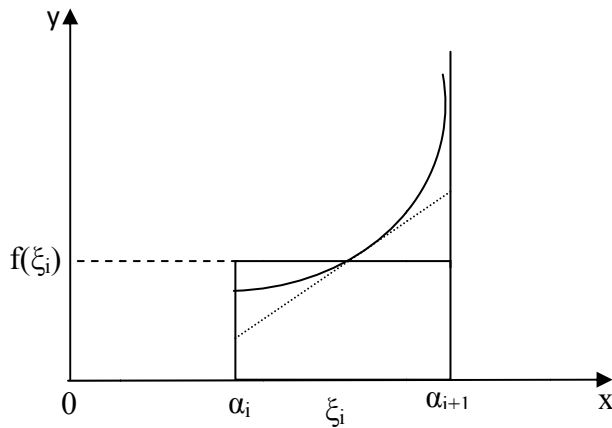


Fig. I. 13. Methode du point milieu

On note deux inconvénients dans cette méthode : le 1^{er} est l'existence d'une partie supplémentaire qui a été calculé. Le 2^{ème} une partie manquante qui n'était pas prise en considération.

I.10.4. Méthode des Trapèzes

On prend la loi suivante

$$\int [f(a) \cdot da = \sum_{i=1}^{n-1} (a_{i+1} - a_i) \left(\frac{f(a_i) + f(a_{i+1})}{2} \right)$$

La figure suivante sera comme exemple d'application

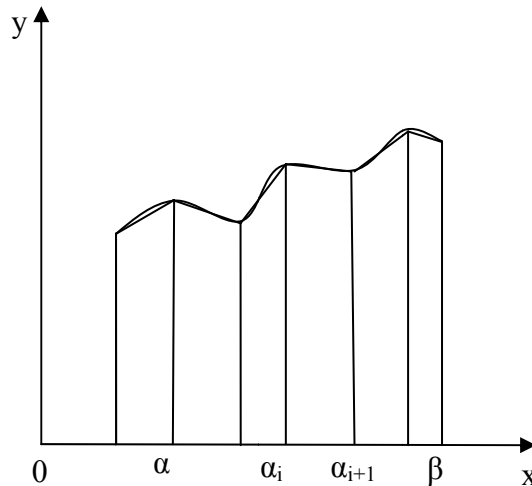


Fig. I.14. Méthodes des Trapèzes

En comparant cette méthode par rapport aux méthodes précédentes, on note que Trapèzes est la plus précise

I.9.9. Conclusion

On a traité dans ce chapitre les décharges de surface ainsi que les différentes méthodes de mesures et de calculs de la charge de surface malgré que ses études théoriques soient complexes car elles ne sont pas nombreuses.

II. 1. Introduction

Ce chapitre a pour but de présenter le dispositif expérimental ainsi que le système d'électrode pour étudier les décharges surfacique en tension alternative 50Hz sur les polymères composites et synthétiques particulièrement le PVC, le PP et la résine Epoxy. Ce montage nous permettra aussi la mesure du courant de décharge à l'aide d'un oscilloscope à mémoire.

II.2. Source haute tension

Les essais sont effectués au laboratoire de haute tension en utilisant un transformateur haute tension qui possède les caractéristiques suivantes : 100 kV, 10 kVA, 50 Hz placé dans une cage de Faraday. La variation de la tension d'alimentation du transformateur d'essais se fait à l'aide d'un autotransformateur se trouvant au niveau du pupitre de commande.

II.3. Montage expérimentale

Le schéma de montage utilisé dans cette étude est montré dans la figure II.1. Une configuration pointe-plan est utilisée. L'électrode pointe a été relié à la haute tension et l'électrode plane à la masse via une résistance de mesure R, dont la valeur est de 940Ω , est utilisée pour mesurer les courants de préclaquage.

Les décharges glissantes ont été obtenues en faisant varier la tension d'alimentation du transformateur d'essai monophasé 100 kV, 50 Hz, 10 kVA.

La variation de la tension se fait à l'aide d'un autotransformateur se trouvant au niveau d'un pupitre de commande.

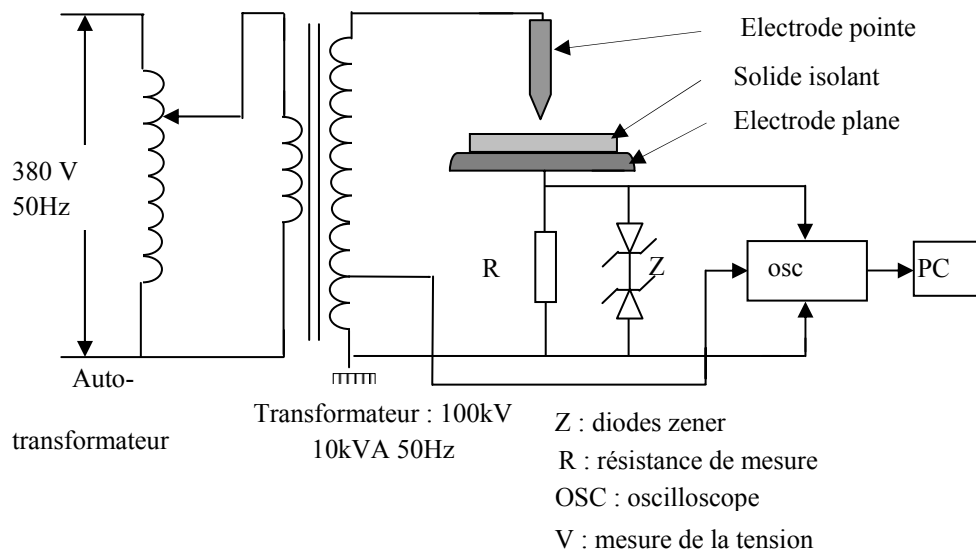
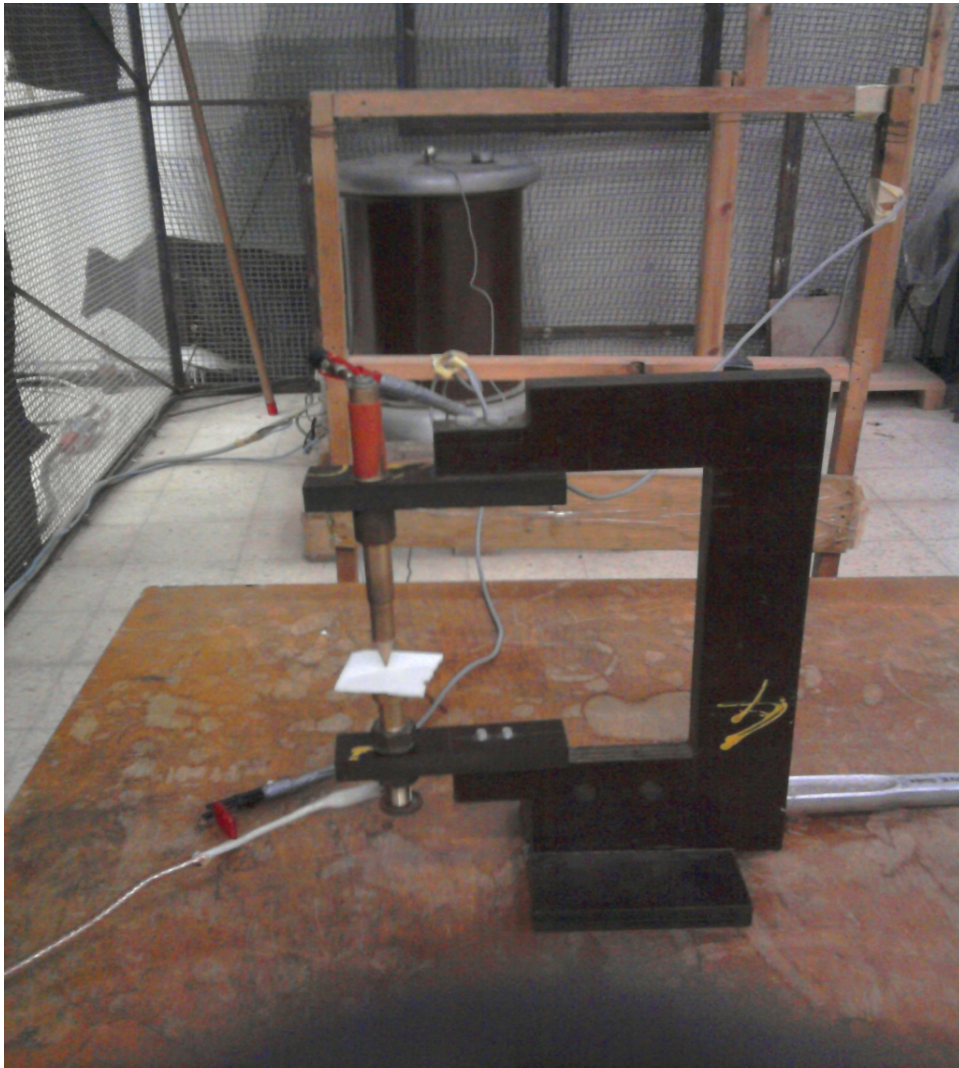


Fig. II.1. Schéma du dispositif



Système d'électrodes

II. 4. Courant de préclaquage et type de charge

II.4.1.Mesure du courant de préclaquage

L'étude du courant de préclaquage nécessite un oscilloscope numérique à mémoire qui est branché aux bornes de la résistance de mesure R. Du fait des faibles temps de montés des courants, sa bande passante a été choisie de sorte qu'il puisse enregistrer des signaux qui ont des temps de monté de l'ordre de quelques nanosecondes. Son impédance d'entrée doit aussi être grande pour empêcher le courant de la traverser et ne pas fausser la mesure des courants. L'oscilloscope a été relié à un ordinateur pour pouvoir traiter les différents résultats obtenus.

II.4.2. Type de charge

Tout phénomène électrostatique est dû à la présence de charges électriques.

Au niveau macroscopique, pour les problèmes électrostatique dont nous aurons à rendre compte, il est important de préciser l'aptitude de la matière (un morceau de métal, de plastique, un gaz, un liquide etc.) à donner naissance, sous l'action d'une sollicitation extérieure, à des charges électrique en son sein, c'est-à-dire son aptitude à s'opposer ou non à la séparation des charges positives des charges négatives.

Les électrons sont fortement liés aux atomes d'isolant, ils ne peuvent pas se déplacer dans le milieu, même sous l'action de forte sollicitation extérieur. Un tel milieu est isolant. La séparation des charges (ions) positives et négatives est possible, mais ces charges sont très peu mobiles (les isolants jouent un rôle important en électrostatique).

Les matières plastiques telles que le PTFE (Téflon), le polyéthylène, le PVC (polychlorure de vinyle), etc. Sont des exemples typiques d'isolant.

II.5. Choix des matériaux isolants

II.5.1. Définition d'un isolant

Un isolant est un matériau qui ne conduit pas l'électricité. Sa destination primaire est d'empêcher tout contact entre des pièces métalliques portées à des potentiels différents [19]. Une façon plus simple de définir un matériau isolant est de dire qu'il est caractérisé par une résistance électrique très élevée. A l'opposé de celle des métaux, la résistivité de ces matériaux décroît lorsque leur température augmente [20]

Les caractéristiques d'un isolant solide sont :

- La rigidité diélectrique E_r (V/m)
- La permittivité relative ϵ_r
- Le facteur de pertes diélectriques $\tan \delta$ en tension alternative.
- La résistance en tension continue

II.5.2. Différents matériaux isolants

D'après leurs états physiques, les isolants électriques sont classés en trois grandes catégories : Les isolants solides, liquides et gazeux. Selon leur origine on en distingue deux types, les isolants naturels et les isolants synthétiques. Le premier type concerne les isolants minéraux et certains isolants organiques naturels, le second type concerne les matières plastiques et les composites. Les matières plastiques occupent une place importante et tendent à remplacer les matériaux traditionnels comme le bois ou le papier. Elles présentent de nombreux avantages puisque légères, durables et avec les formes souhaitées [21]

II.5.3. Définition d'un polymère

Un polymère est un système formé par un ensemble de macromoléculaire, c'est-à-dire d'entité moléculaire de grande dimensions, issues de l'assemblage covalent d'un grand nombre d'unités répétitives appelées unité monomère.

La science des polymères a donc été développée dans le but d'obtenir de nouveaux matériaux, avec des propriétés diélectriques, ainsi qu'une résistance à la température et à l'humidité améliorée [22]

Selon leurs composition et leurs parties constituantes, les polymères peuvent être subdivisés en grandes classe comme les polyvinyles, les polyuréthanes, les polyesters, les polyamides,.....etc.

II.5.4. Polymérisation [23]

La synthèse d'un polymère peut se faire de différentes manières : polymérisation anionique, cathodique, radicalaire et en émulsion. La polymérisation nécessite souvent la présence d'agents amorceurs de réaction et / ou de catalyseur pour l'augmentation de la vitesse de polarisation.

II.5.5. Présentation des polymères étudiés

Nous avons mené notre étude sur trois polymères qui sont le polychlorure de vinyle(PVC), le polypropylène (PP), et la résine époxy est-ce que vous avez fait les essais sur tous ces matériaux. Ces polymères sont largement utilisés dans l'industrie du génie électrique en tant qu'isolant grâce à leurs excellentes caractéristiques diélectriques et mécaniques ainsi qu'à la facilité de leur recyclage.

Notre choix pour ces trois polymères est dicté par le fait que leur étude n'a pas été faite avant au de notre laboratoire.

II.5.5.1. Polychlorure de vinyle PVC

II.5.5.1.1. Définition du PVC

Le polychlorure de vinyle ou chlorure de polyvinyle est un polymère thermoplastique de grande consommation, amorphe ou faiblement cristallin, connu généralement sous le single PVC (en anglais **polyvinyl chloride**). Il est préparé à partir de deux matières premières : à 57% de sel et à 43% de pétrole. Le PVC est la seule matière plastique d'usage courant constituée par plus de 50% de matière première d'origine minérale existant à profusion dans la nature [24]

Le polychlorure de vinyle (PVC) seul est un plastique très instable et il se brise facilement. Depuis 1930, des additifs tels des plastifiants, des lubrifiants et des stabilisateurs thermiques y sont ajoutés afin de donner certaines caractéristiques aux plastiques comme la flexibilité, la résistance à la chaleur et la durabilité.

Il existe deux types de PVC : Le PVC rigide, sans plastifiant et le PVC plastifié

Le PVC est obtenu de deux façons principales

- **La polymérisation en suspension** : (la plus utilisée) consiste à mélanger le PVC avec de l'eau en présence d'additifs et un initiateur. La poudre de PVC issue de cette centrifugation est séchée et tamisée.

- **LA polymérisation en émulsion** : C'est un principe assez similaire mais permet l'obtention d'une poudre de PVC plus fine

Formule moléculaire : $\text{CH}_2 = \text{CHCl}$

II.5.5.1.2. Propriétés du PVC

Le PVC est très polyvalent. A l'état brut, le PVC est sensible à l'action de rayonnement ultra violet (vieillessement accéléré). Les fabricants ajoutant au mélange des photo-stabilisants très efficaces. Le PVC a une excellente rigidité diélectrique, une bonne résistance aux acides et bases et une bonne résistance aux hydrocarbures aliphatiques. Il présente toutefois une mauvaise résistance aux hydrocarbures aromatiques et chlorés ainsi qu'aux cétones et esters.

Le PVC pur est instable à la chaleur et à la lumière. Sa température de transition vitreuse T_g est élevée entre 75°C et 80°C, ce qui le rend impropre à de nombreuses applications. Placé dans une flamme, le PVC se brûle mais ne propage pas lui-même la flamme.

II.5.5.1.3. Utilisation du PVC

Il est utilisé comme gainage et isolant de câbles d'énergie électrique jusqu'à 10 kV environ et des câbles de télécommunication basse fréquence [10]

II.5.5.2. Le Polypropylène (PP)

Le polypropylène (PP) appartient à la classe de polymères appelés « Polymères de commodité » qui regroupe les cinq polymères (polyéthylène basse et haute densité, le polystyrène (PS) et polychlorure de vinyle (PVC)) les moins chers et les plus importants dans le monde [25]. Le PP est découvert en 1954 et commercialisé pour la première fois en 1957 par la compagnie Montecatini. Son développement est moins rapide par rapport aux polyéthylènes mais occupe actuellement une grande place dans l'industrie [26]. En raison de cumul de bonnes propriétés électriques et mécaniques, le PP est très utilisé en particulier dans les domaines suivants : isolateurs d'antennes, manchons de raccordement pour câbles, boîtiers, ailettes de refroidissement dans les moteurs et dans les condensateurs de puissances [27 28 29].

Le PP est un thermoplastique obtenu par la polymérisation du propylène, fig. II.1. Compte tenu du carbone asymétrique du monomère, la polymérisation du propylène peut conduire à une chaîne macromoléculaire possédant plusieurs types possibles de conformations comme le montre les figures II.2 à II.4. La cristallinité du polymère dépend fortement

de la conformité (tacticité). En effet la cristallinité est nulle pour un PP isotactique pur et peut atteindre 67% pour le PP atactique [27 26 25].

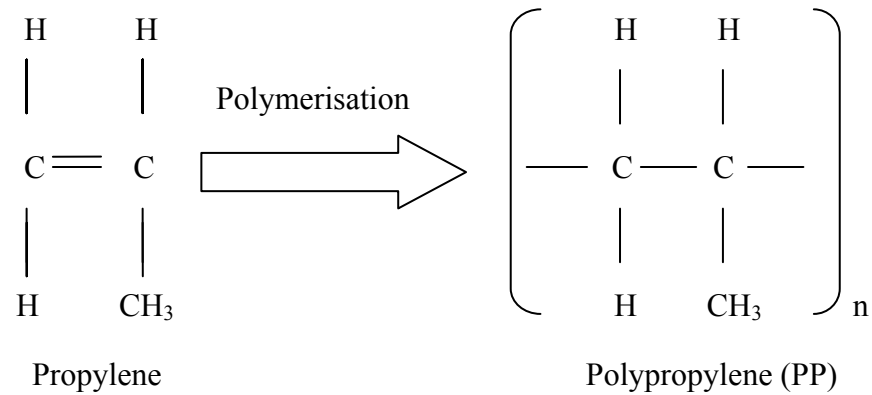


Fig II.2.Synthese de polypropylene (PP)

- PP isotactique

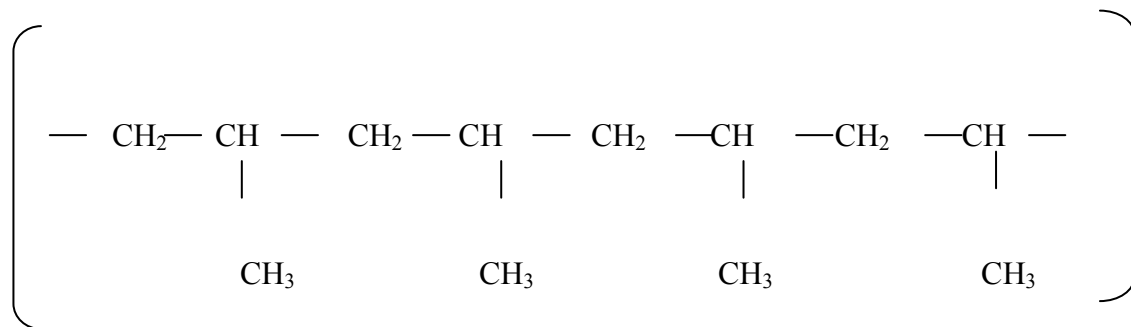


Figure I.3. Le polypropylène (PP) isotactique

Les groupements CH₃ sont repartis d'un même côté de la chaîne. Le degré de cristallinité de ce polymère est très grand.

- PP atactique

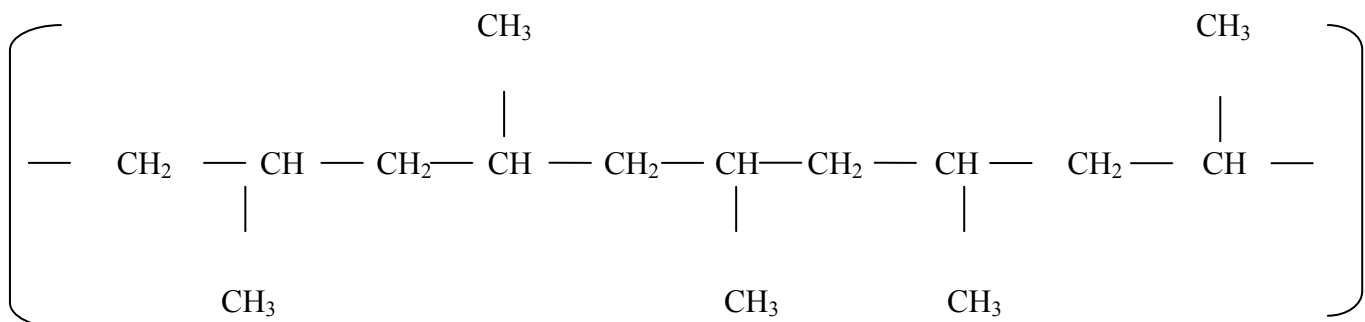


Fig.II.4. Le polypropylène (PP) atactique

Les regroupements CH_3 sont repartis aléatoirement des deux cotés de la chaîne. Le degré de cristallinité de ce polymère est pratiquement nul.

- PP Syndiotactique

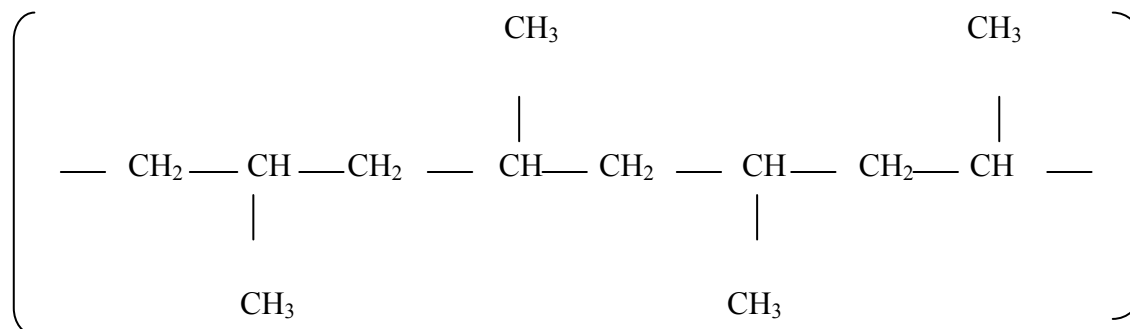


Fig. II.4. Le polypropylène (PP) Syndiotactique

Les groupements CH_3 sont répartis alternativement des deux cotés de la chaîne. Le degré de cristallinité de ce polymère est très faible.

L'augmentation de la cristallinité accroît les propriétés liées à l'état cristallin (résistance mécanique, dureté, point de fusion élevé, stabilité).

II.5.5.2.1. Caractéristique du polypropylène (PP)

Les principales caractéristiques du PP peuvent être représentées par le tableau II.1

Permittivité relative ϵ_r	50 ou 60 Hz	2.2 à 2.6
	1 kHz	2.2 à 2.6
	1 MHz	2.2 à 2.6
Angle de pertes $\text{tg}\delta$	50 u 60 Hz	$1 \cdot 10^{-4}$ à $3 \cdot 10^{-4}$
	1 kHz	$1 \cdot 10^{-4}$ à $1 \cdot 10^{-3}$
	1 MHz	$1 \cdot 10^{-4}$ à $5 \cdot 10^{-3}$
Rigidité diélectrique		20 à 40 kV/mm
Résistivité transversale		10^{16} à $10^{18} \Omega \cdot \text{cm}$
Resistance superficielle		10^{11} à $10^{15} \Omega$

Température de fusion	145 à 170 °C
Température de transition vitreuse T _g	-10 °C
Température de ramollissement	112 °C □ 132 °C
Absorption d'eau%	0.03

Tableau II.1. Caractéristiques du PP [27, 30]

II.5.5.2.2. Utilisation du Polypropylène

L'utilisation du polypropylène devienne de plus en plus courante. Par exemple pour fabriquer des pièces automobiles, des contenants alimentaires, de films d'emballages, de cordes, d'adhésifs et colle, de fibre textiles (tapis), de pièces pour équipements ménagers, de jouets, des composants électriques et électroniques et de tuyaux.

II.5.6. La résine [31]

Une résine désigne un produit polymère (naturel, artificiel, ou synthétique) qui est une matière de base pour fabriquer par exemple des matières plastiques, peinture, adhésifs, vernis. Elle peut être thermoplastique ou thermodurcissable.

Elle est composée généralement de deux produits chimiquement différents dont l'association est complémentaire. Le premier est la résine en elle-même, chaîne de polymères ouverts à tendance plutôt visqueuse et de couleur quasi incolore. Le second est le durcisseur ou catalyseur suivant le type de résine qui a pour effet dans le cas d'un durcisseur d'apporter à la résine un complément moléculaire de façon à former ses chaînes de polymères (raison de la quantité importante de durcisseur par rapport à la résine, ~30%), et dans le cas d'un catalyseur, de provoquer la fermeture des chaînes de polymères entièrement contenues dans la résine (d'où la faible quantité de catalyseur à adjoindre ~ 1%).

Parmi les deux types de résines (Epoxy et Polyester) on a choisi résine époxy rien que pour ses caractéristiques malgré l'existence des bulles d'air qu'on peut minimiser et non pas les éliminer.

II.5.6.1. Résine Epoxy

Elle trouve son application dans beaucoup de domaines comme l'industrie électrique, alimentaire et la construction grâce à ces bonnes propriétés des solidités, d'élasticité, d'adhésivité, de résistance aux contraintes chimiques et mécaniques et leur qualité d'isolant électrique. Elle est aussi employée pour réaliser des circuits imprimés en électronique. Les résines utilisées dans les applications électriques sont en général durcies sous l'action de polyanhydrides en présence de catalyseurs spéciaux qui sont généralement des amines tertiaires ou des aminophénols.

II.5.6.2. Réalisation du mélange

Il est conseillé d'utiliser une balance électronique pour peser les deux produits (résine +durcisseur) en suivant les étapes ci-dessous :

1. Mettre en marche la balance.
2. Poser le pot vide.
3. Tarer la balance.
4. Verser la quantité de résine désirée.
5. Tarer à nouveau la balance.
6. Verser la quantité de durcisseur calculé.
7. Homogénéiser le mélange avec un agitateur électrique à faible vitesse.
8. Verser le mélange dans un moule.
9. Couvrir avec un film en plastique avant mettre le couvercle du moule.
10. Ajouter dessus un poids et laisser 24h minimum pour qu'elle soit dure.
11. Démouler, découper pour réaliser des essais désirés.

II.6. Conclusion

Cette partie de notre travail est consacrée pour présenter le dispositif expérimental pour l'étude le phénomène de décharge de surface sur les isolants solides pour calculer les charges associées aux décharges ainsi que le système d'enregistrement des phénomènes d'apparition des courants de décharge.

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons les résultats expérimentaux de l'étude des courants de préclaquage et la charge associée à une décharge de surface pour le polypropylène (PP), le polychlorure de vinyle (PVC) et la résine Epoxy ainsi que le vieillissement du PP et la résine Epoxy.

Notre objectif est de mesurer le courant maximum de la décharge pour les deux impulsions positives et négatives en faisant varier la tension de 6 à 12kV et la couche d'air de 2 à 5mm pour les trois polymères cités précédemment en utilisant un oscilloscope à mémoire. Pour évaluer la charge associée à la décharge, nous avons procédé par intégration de la fonction courant dans un environnement Matlab.

III.2. Résultats et interprétation

Les figures ci-dessous montrent l'augmentation de l'amplitude de l'impulsion avec l'augmentation de la tension appliquée pour les deux polarités. Notons que l'amplitude des impulsions positives est plus grande que celle des impulsions négatives par contre le nombre d'impulsions négatives est plus grand que celui des impulsions positives.

Il n'est pas toujours facile de repérer pour une impulsion, l'origine de temps de montée qui est souvent brouillé par des oscillations parasites. De plus la crête de l'onde était souvent déformée, l'instant où l'amplitude atteint le maximum ne peut pas être repéré avec précision.

Le temps de montée pour les impulsions positives est toujours supérieure à celui des impulsions négatives malgré que la durée totale de l'impulsion des deux polarités est pratiquement la même.

Les streamers se propageant à une grande vitesse fait introduire des faibles temps de montée. Le temps de montée est dû au déplacement des électrons qui ont une grande mobilité alors que le temps de descente est dû au déplacement des ions qui ont une faible mobilité [32]

Le courant correspondant à la décharge secondaire est d'amplitude moindre est de signe opposé à celui de la tension appliquée

Ce phénomène pourra s'expliquer par l'accumulation de charges surfaciques à la surface du diélectrique solide. Notons que le temps d'apparition des décharges secondaire pourrait varier en fonction du caractère aléatoire des charges surfacique.

III.3. Présentation des graphes

III.3.1. Influence de la tension appliquée et la couche d'air des isolants sur le courant maximum de décharge

Dans cet essai, nous avons fait varier la tension de décharge de 6 à 12 kV et la couche d'air de 2 à 5mm pour chaque polymère

a) Variation du courant maximum en fonction de la tension

• Pour le PVC

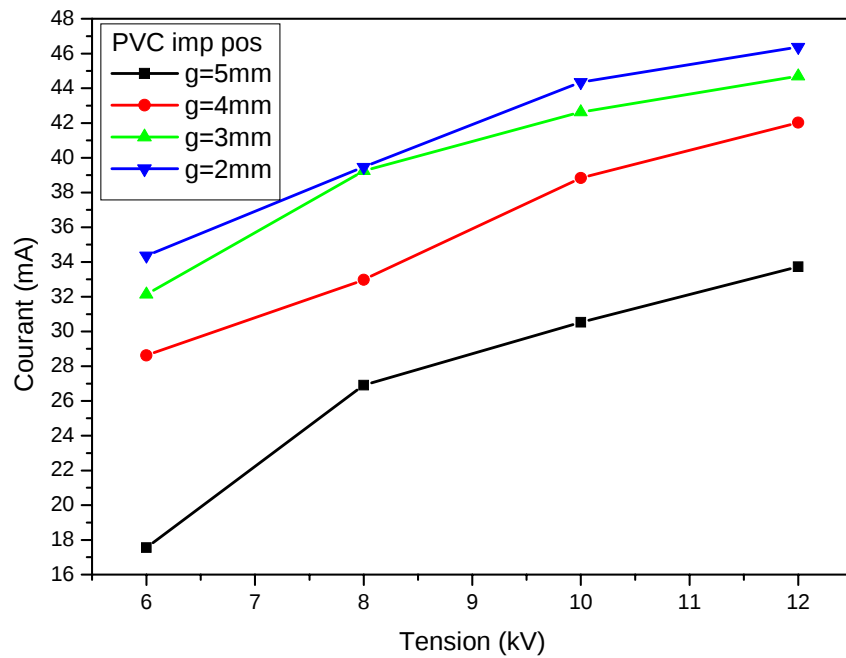


Fig III.1. Courant maximum en fonction de la tension appliqué en polarité positive

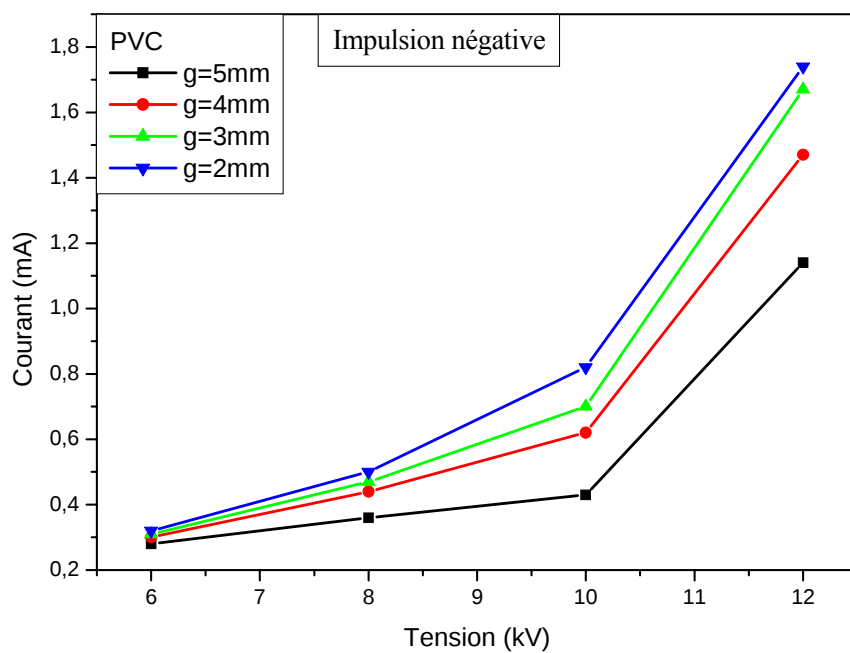


Fig.III.2. Courant maximum en fonction de la tension appliquée en polarité négative

● Pour le PP

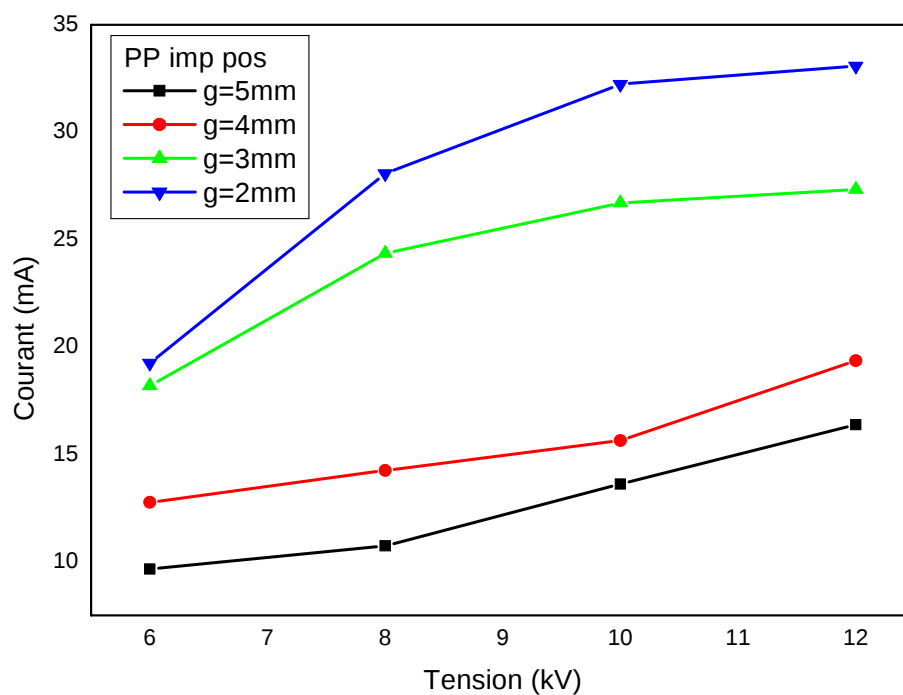


Fig III.3. Courant maximum en fonction de la tension appliquée en polarité positive

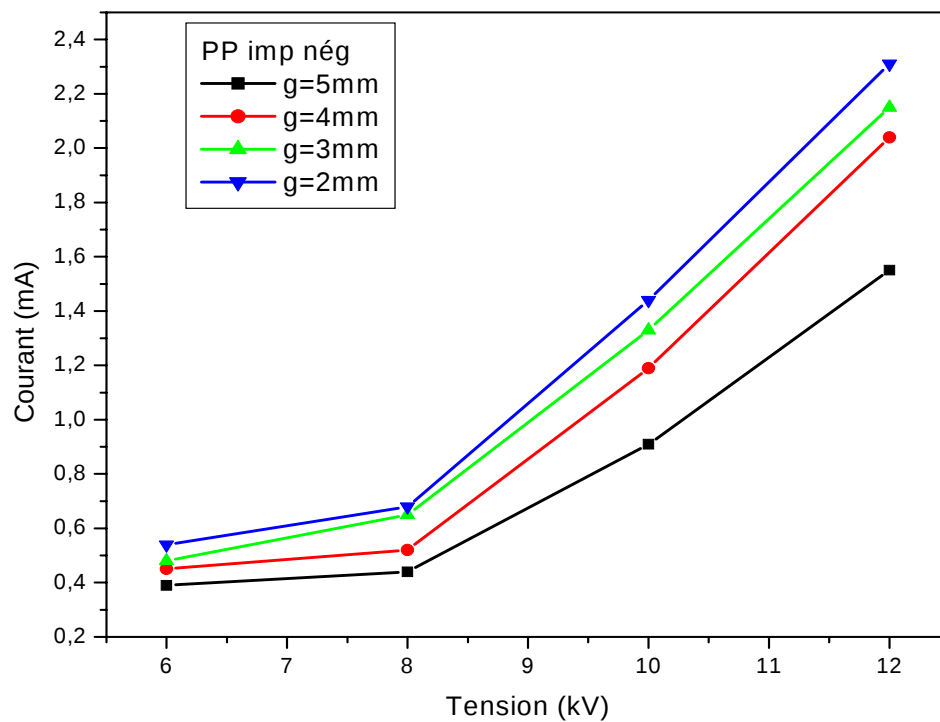


Fig III.4. Courant maximum en fonction de la tension appliqué en polarité négative

• Pour la résine Epoxy

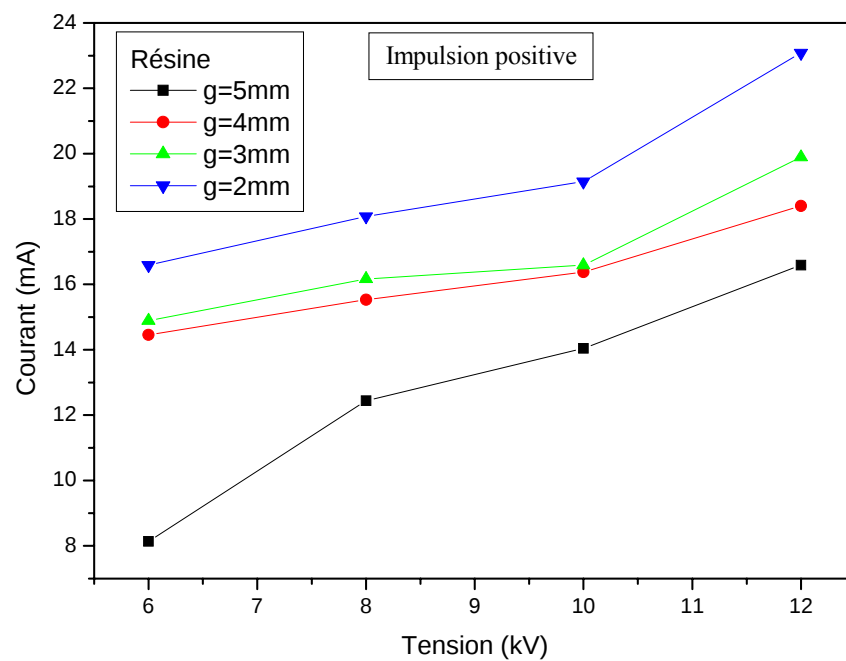


Fig III.5 Courant maximum en fonction de la tension appliquée en polarité positive

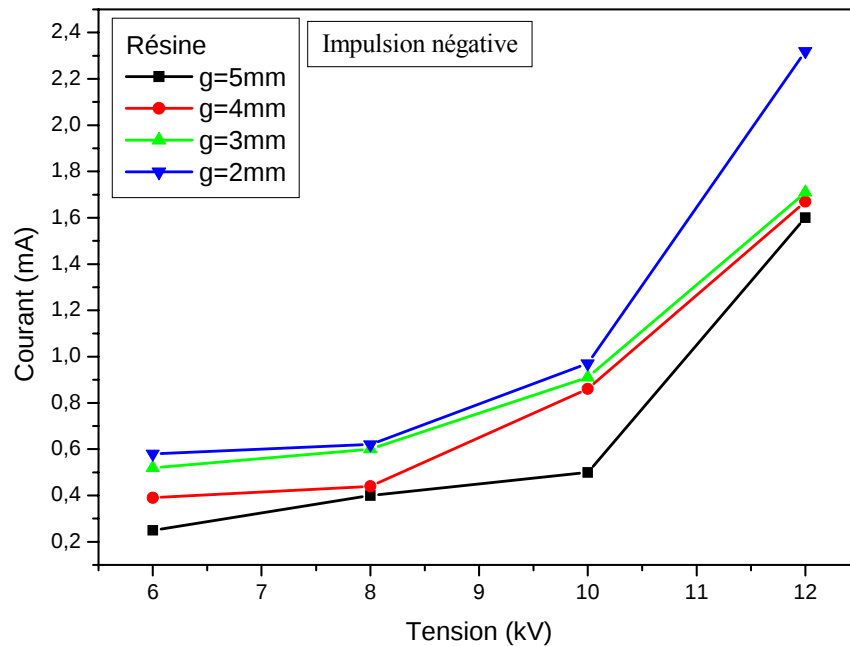


Fig III.6 Courant maximum en fonction de la tension appliquée en polarité négative

b) Variation du courant maximum en fonction de la couche d'air

• Pour le PVC

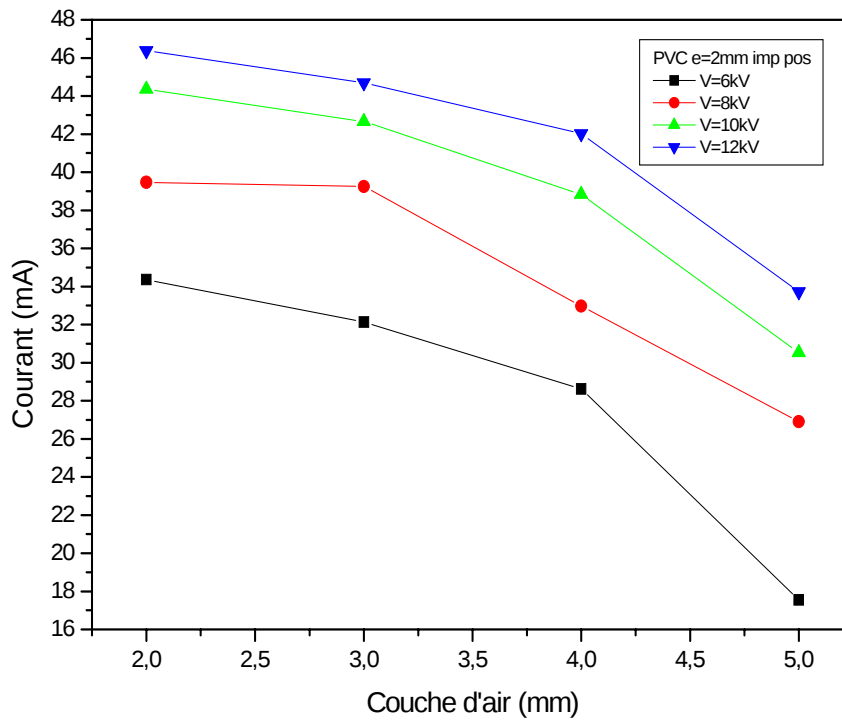


Fig III.7 Courant maximum en fonction de la couche d'air en polarité positive

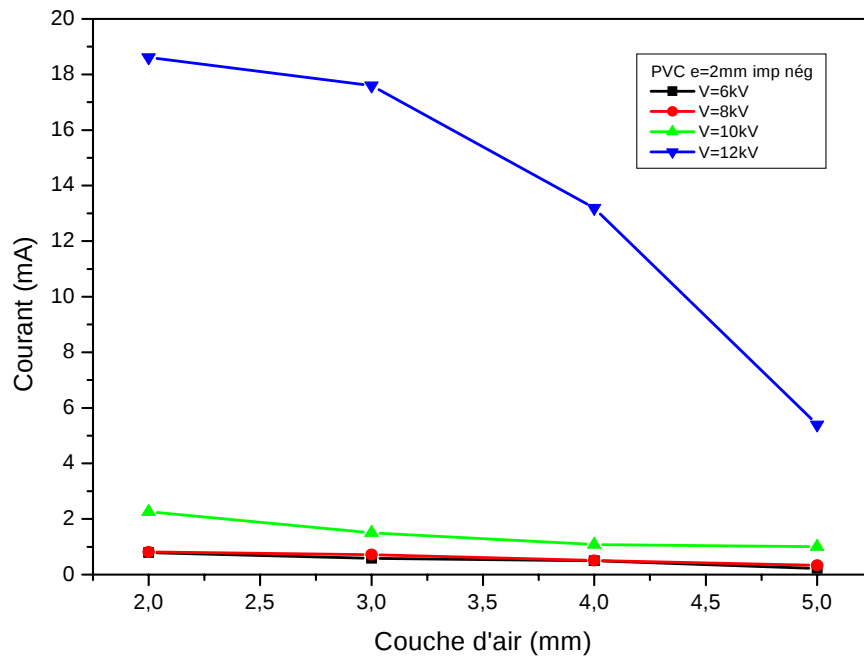


Fig III.8 Courant maximum en fonction de la couche d'air en polarité négative

- Pour le PP

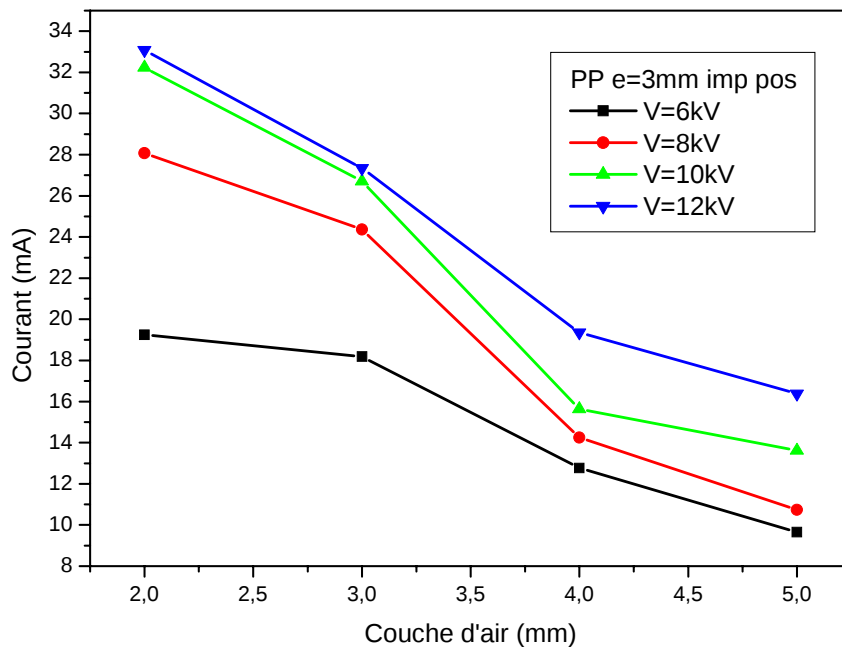


Fig III.9 Courant maximum en fonction de la couche d'air en polarité positive

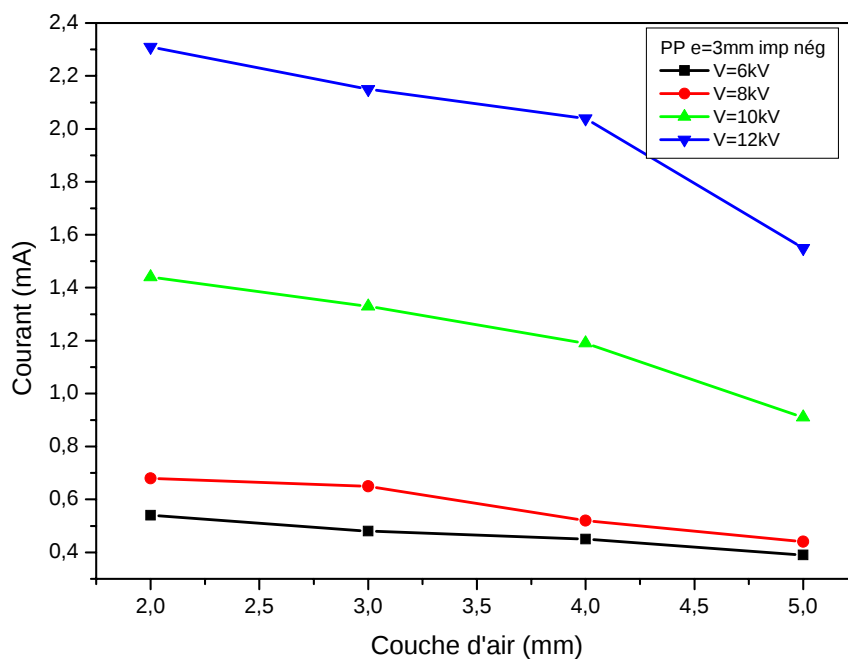


Fig III.10 Courant maximum en fonction de la couche d'air en polarité négative

• Pour la résine Epoxy

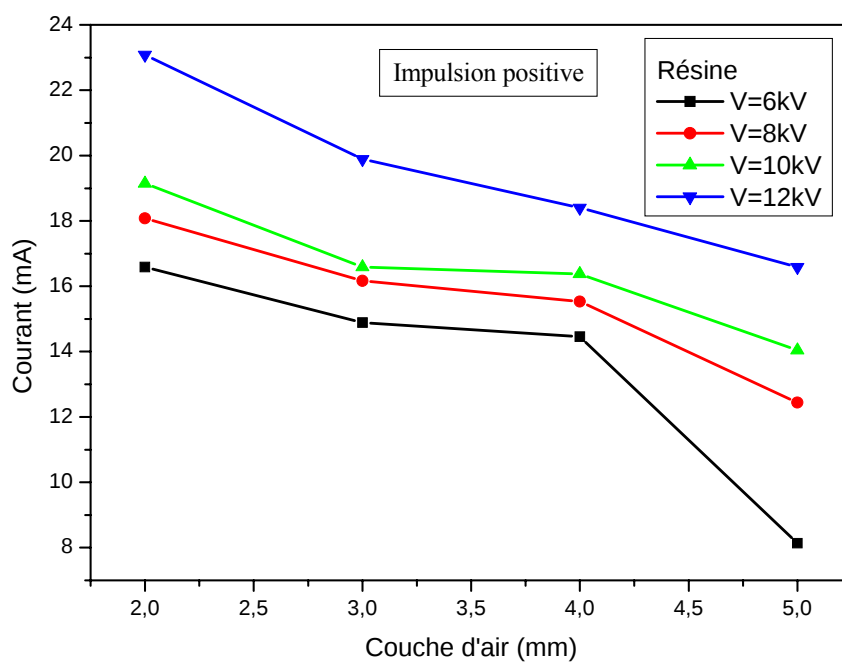


Fig III.11 Courant maximum en fonction de la couche d'air en polarité positive

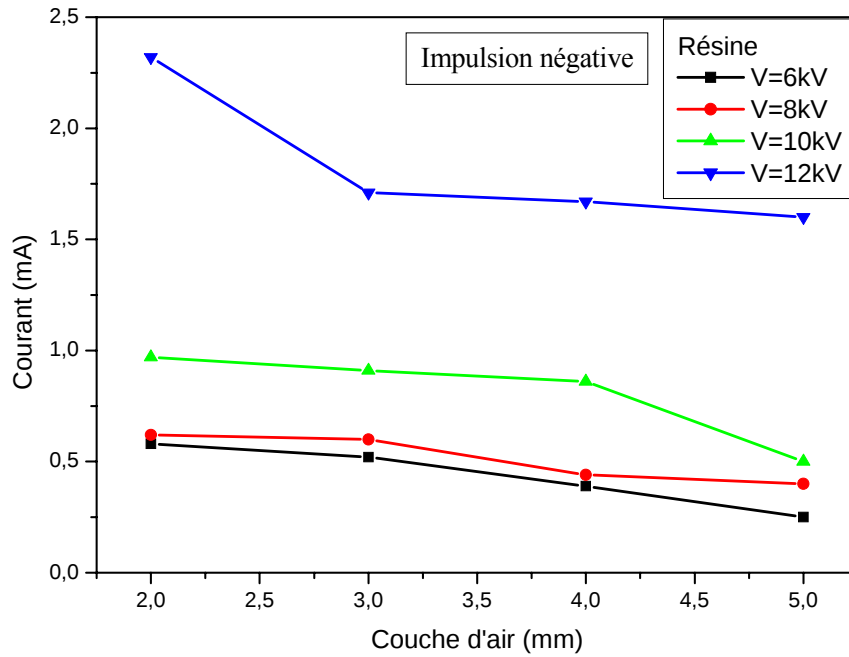


Fig III.12 Courant maximum en fonction de la couche d'air en polarité négative

III.4. L'influence de la permittivité du solide isolant sur le courant maximum des décharges

Nous comparons les courants de décharge pour les deux polymères (PP et la résine Epoxy) portant même épaisseur mais de permittivités différentes

L'isolant possédant une permittivité plus élevée subit un courant de décharge plus important pour une même tension appliquée aussi l'alternance positive est plus grande que l'alternance négative

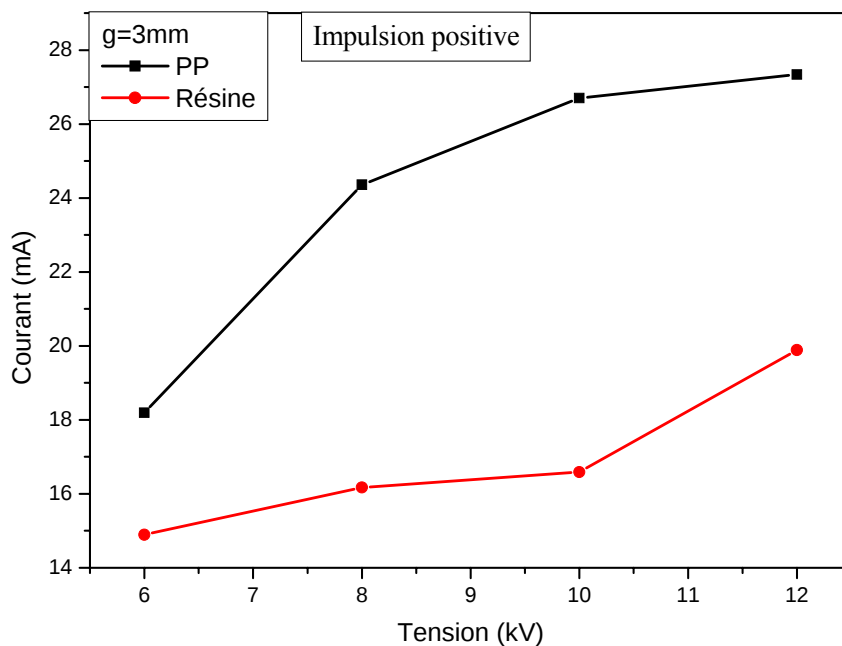


Fig III.13 Influence de la permittivité du solide isolant sur le courant maximum de décharge en polarité positive ($e=3\text{mm}$)

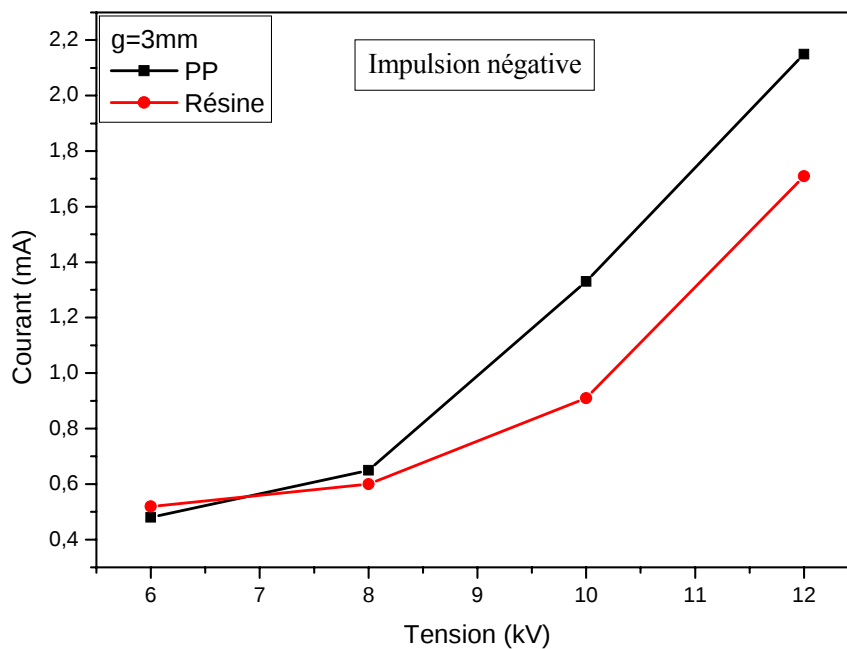


Fig III.14 Influence de la permittivité du solide isolant sur le courant maximum de décharge en polarité négative ($e=3\text{mm}$)

III.5. Association de la charge à une décharge électrique de surface

La charge superficielle a toujours une influence sur le phénomène de l'isolant soumis à un champ électrique élevé [33].

III.5.1. Calcul de la charge associée à une impulsion maximum de courant

Dans cette étude on a utilisé une méthode indirecte (par intégration) pour calculer la charge accumulée à la surface du diélectrique solide suivant la loi $Q = \int_0^t I(t).dt$. C'est-à-dire en calculant l'aire des impulsions positives et négatives de courant après avoir enregistré l'impulsion maximale du courant par un ordinateur lié à l'oscilloscope en utilisant matlab.

Les figures ci-dessous montrent la variation de la charge maximale de l'impulsion de courant en polarité positive et négative en fonction de la tension appliquée et différentes couche d'air

● Pour PVC

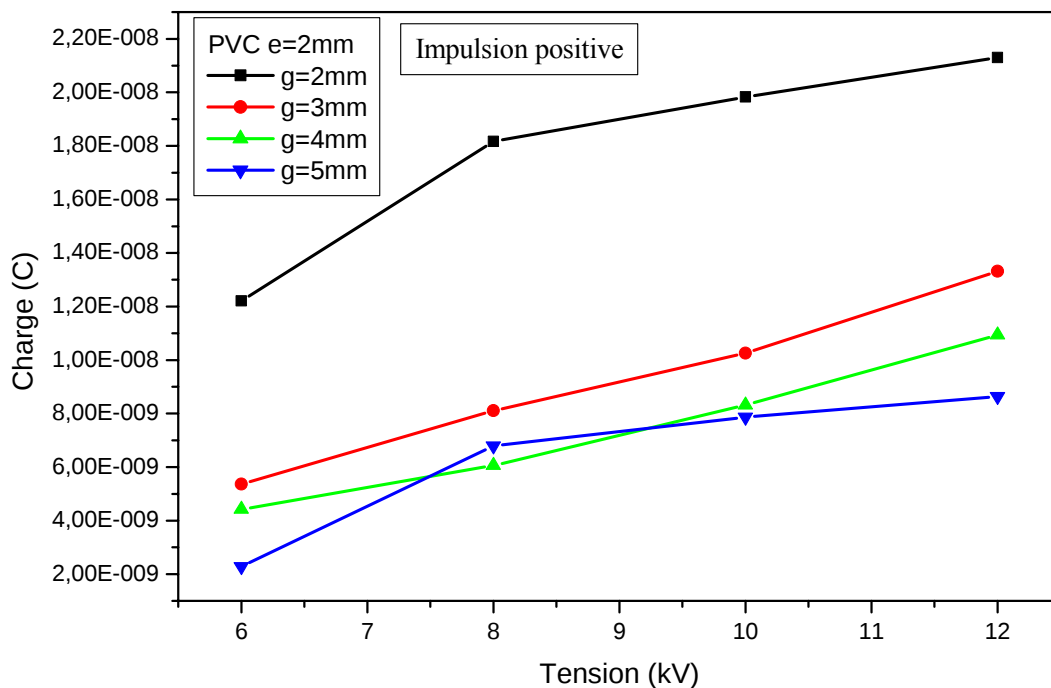


Fig III.15 Variation de la charge en fonction de la tension en polarité positive

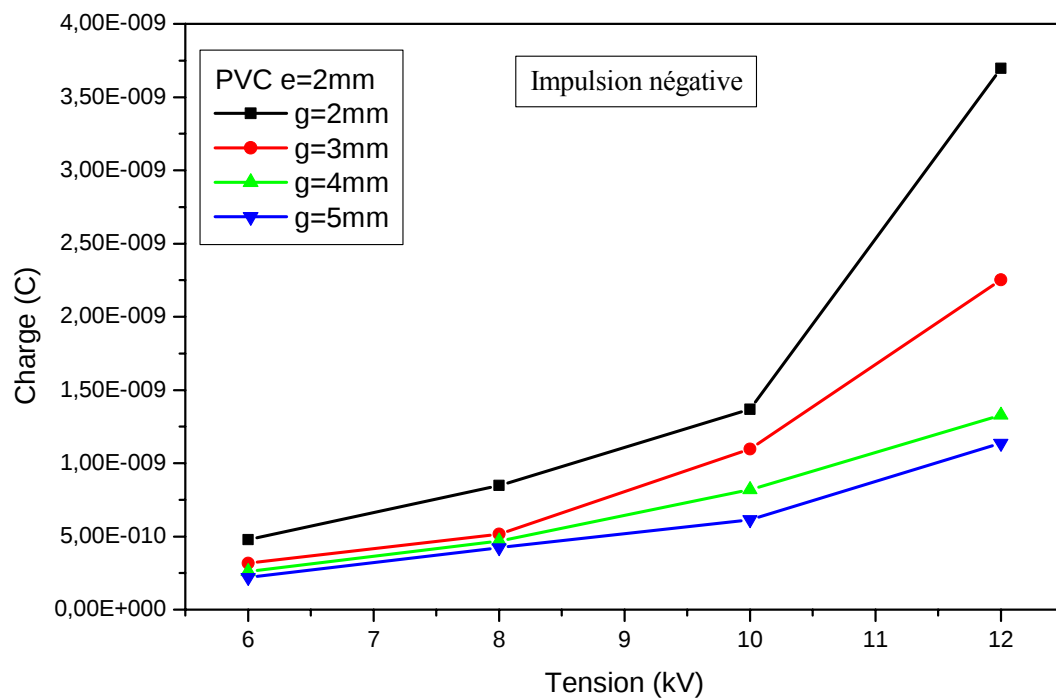


Fig III.16 Variation de la charge en fonction de la tension en polarité négative

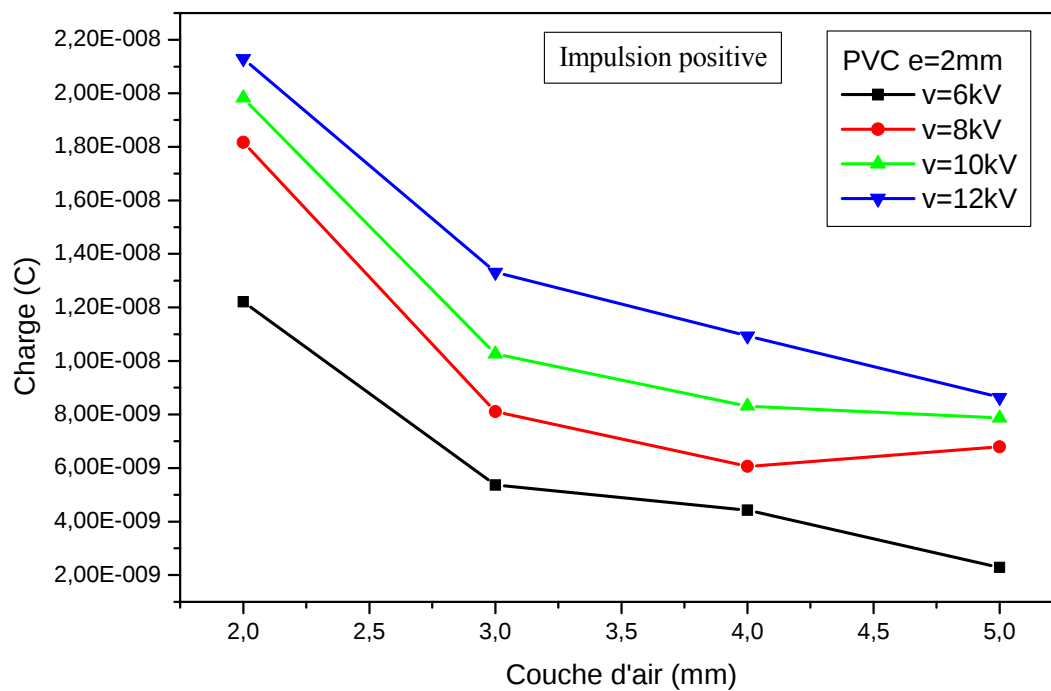


Fig III.17 Variation de la charge en fonction de la couche d'air en polarité positive

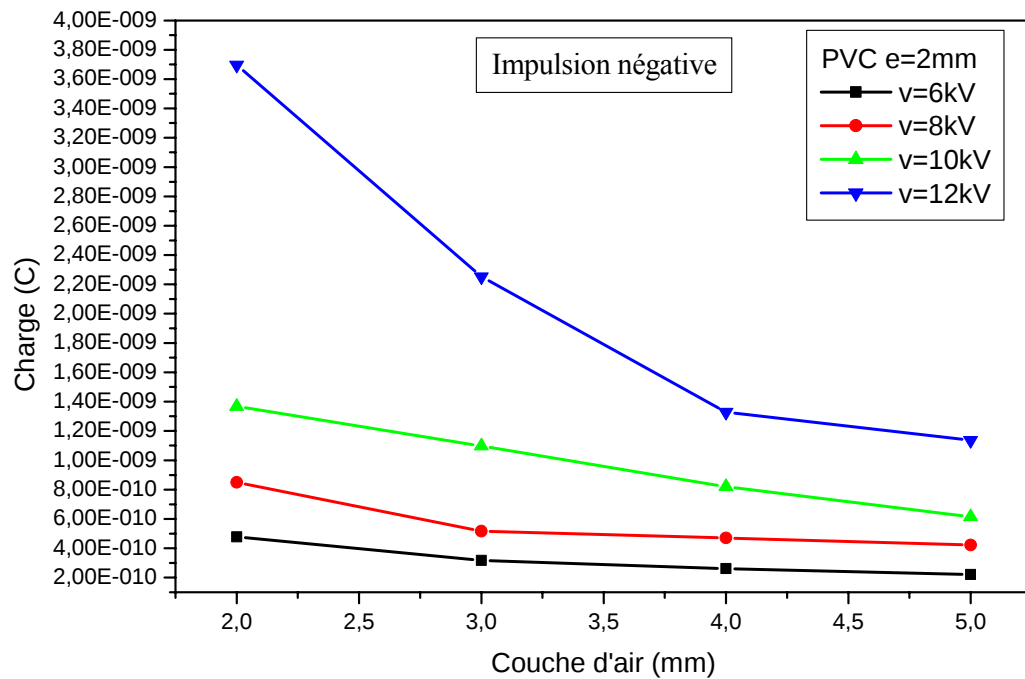


Fig III.18 Variation de la charge en fonction de la couche d'air en polarité négative

● Pour PP

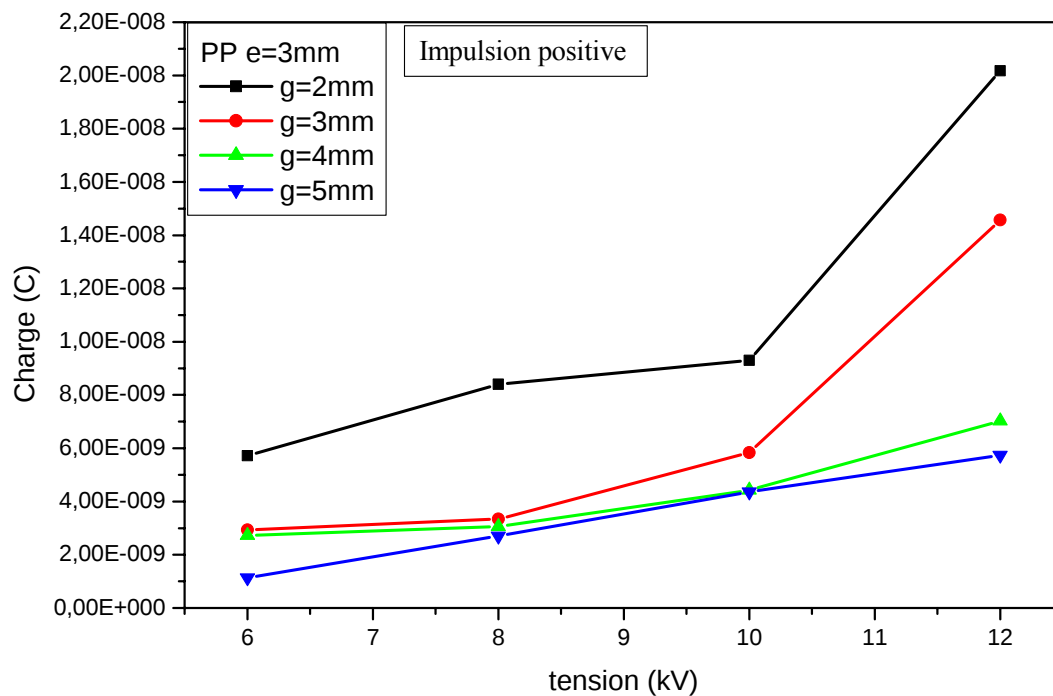


Fig III.19 variation de la charge en fonction de la tension en polarité positive

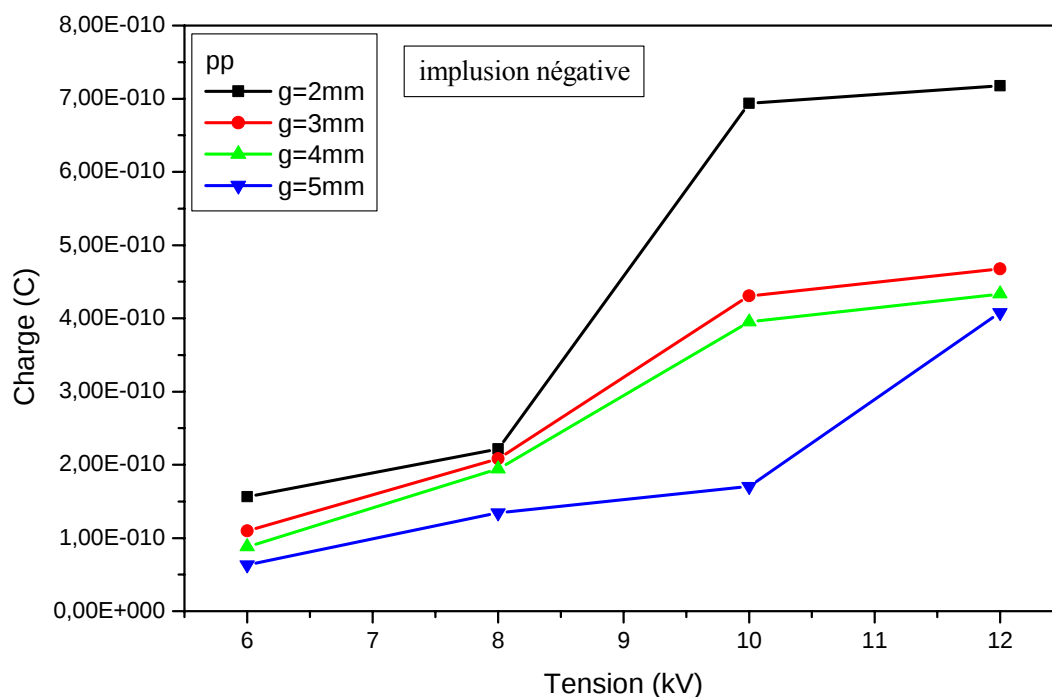


Fig III.20 Variation de la charge en fonction de la tension en polarité négative

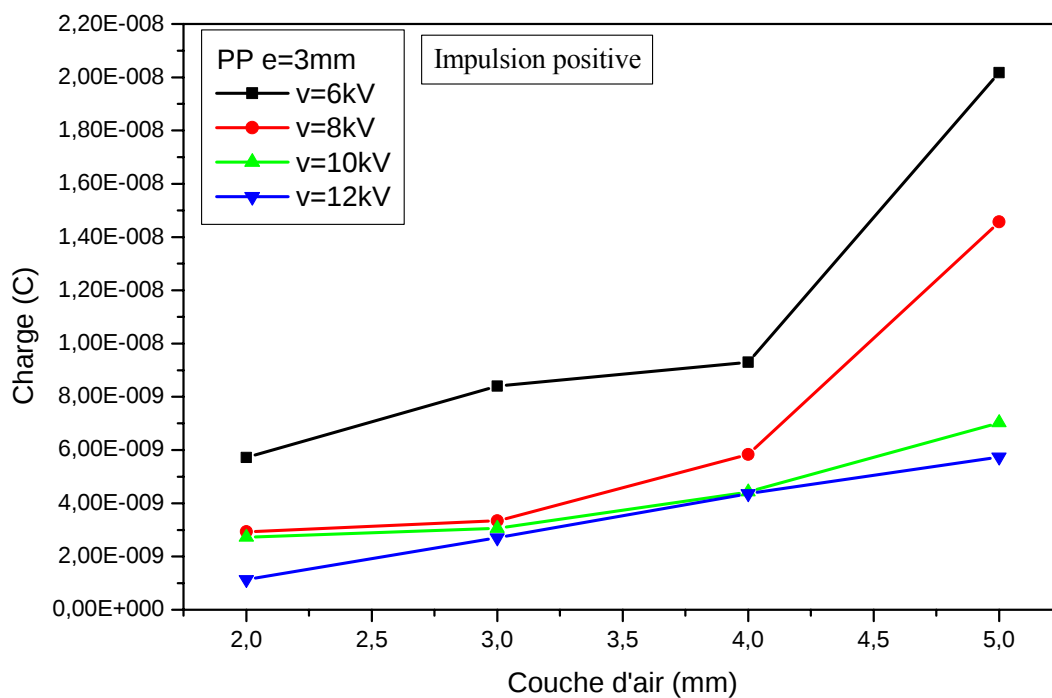


Fig III.21 Variation de la charge en fonction de la couche d'air en polarité positive

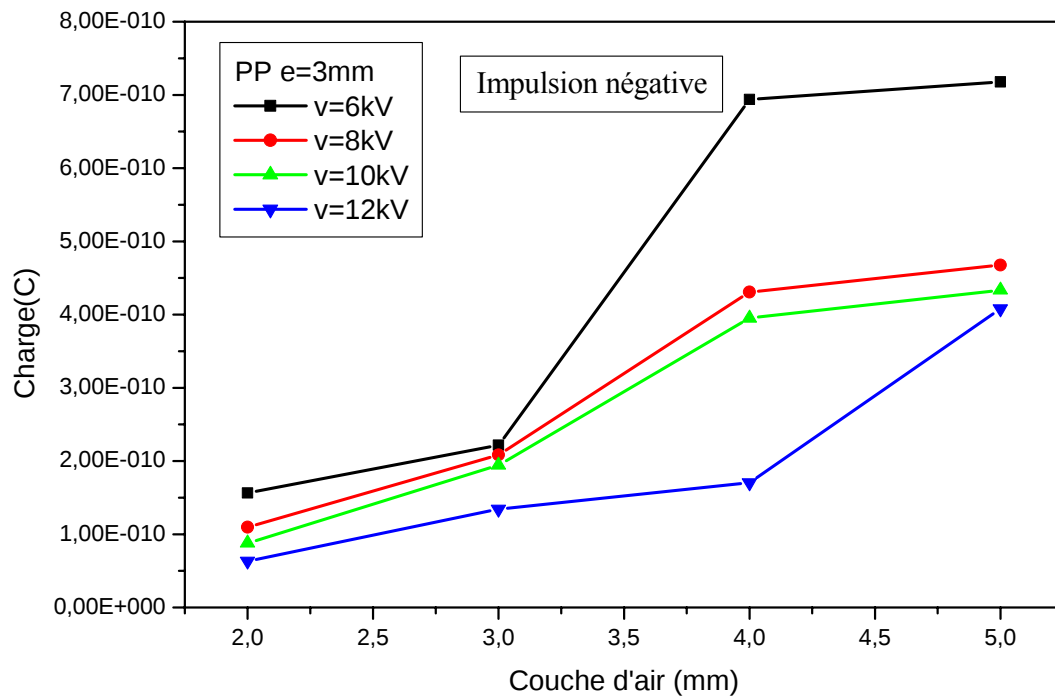


Fig III.22 Variation de la charge en fonction de la couche d'air en polarité négative

● Pour la résine

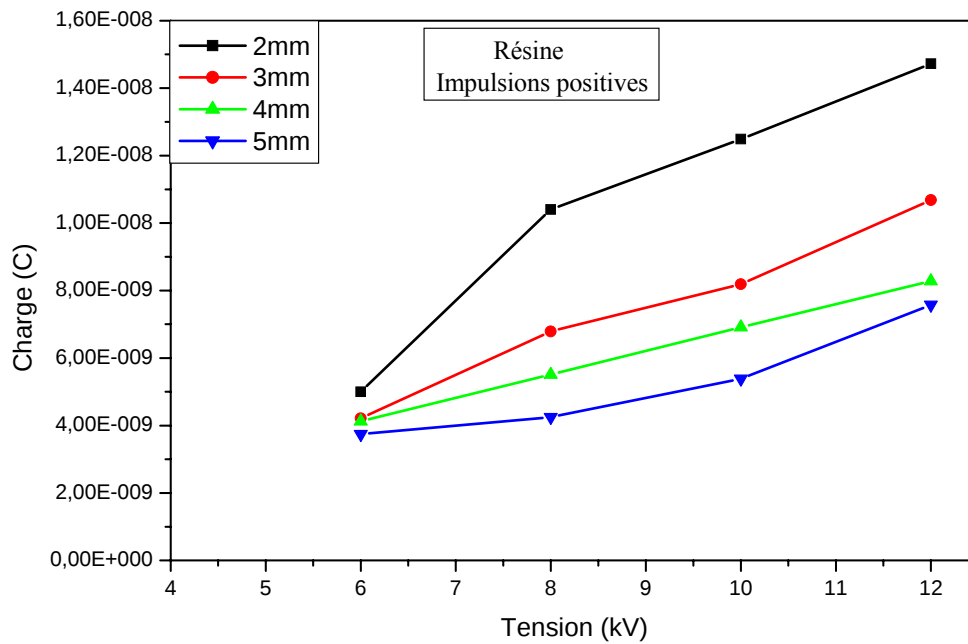


Fig III.23 Variation de la charge en fonction de la couche d'air en polarité positive

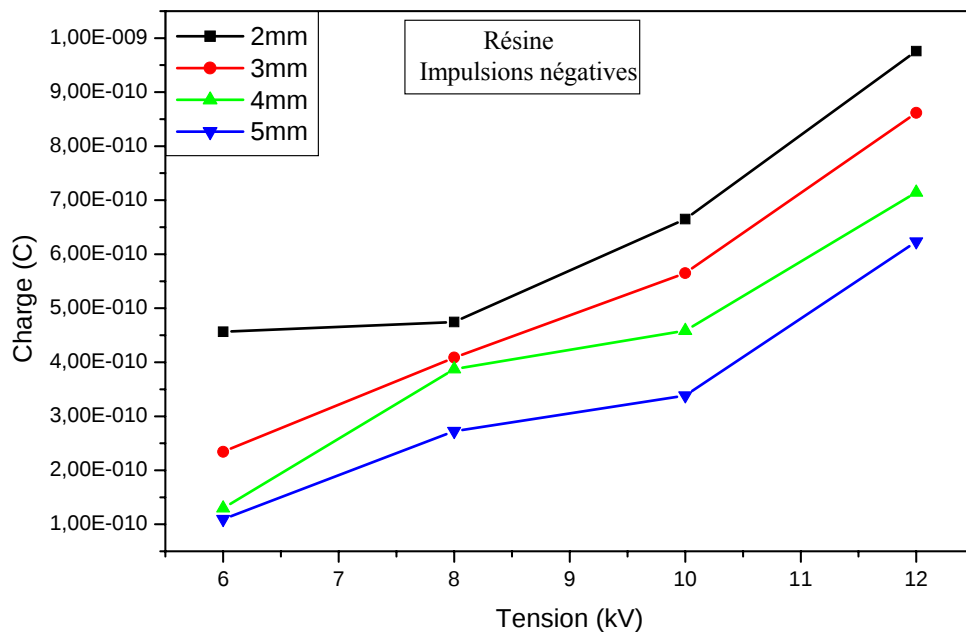


Fig III.24 Variation de la charge en fonction de la tension en polarité négative

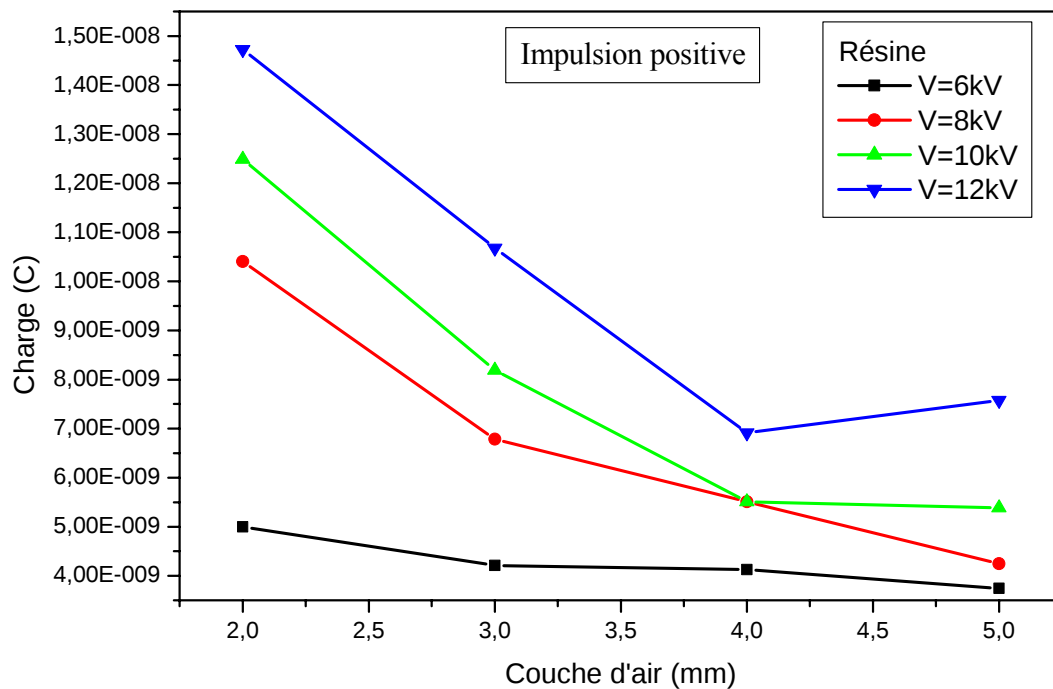


Fig III.25 Variation de la charge en fonction de la couche d'air en polarité positive

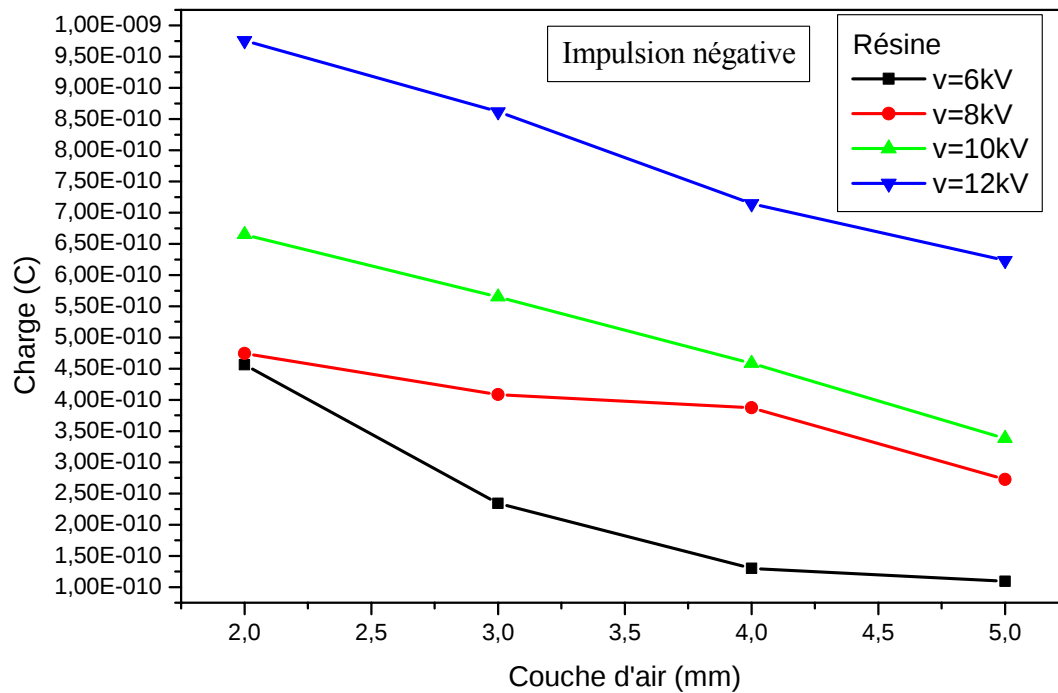


Fig III.26 variation de la charge en fonction de la couche d'air en polarité négative

III .6. Influence de temps de vieillissement et l'état de surface du diélectrique sur le courant de décharge

L'étude du courant de décharge s'effectue sur le polypropylène et la résine de 3mm d'épaisseur (e) et 3mm d'intervalle d'air (g) en fonction du temps.

Les figures ci-dessous montrent que le courant de décharge augmente avec l'augmentation de temps de vieillissement pour les deux polymères quelque soit leur polarité.

● Pour Résine

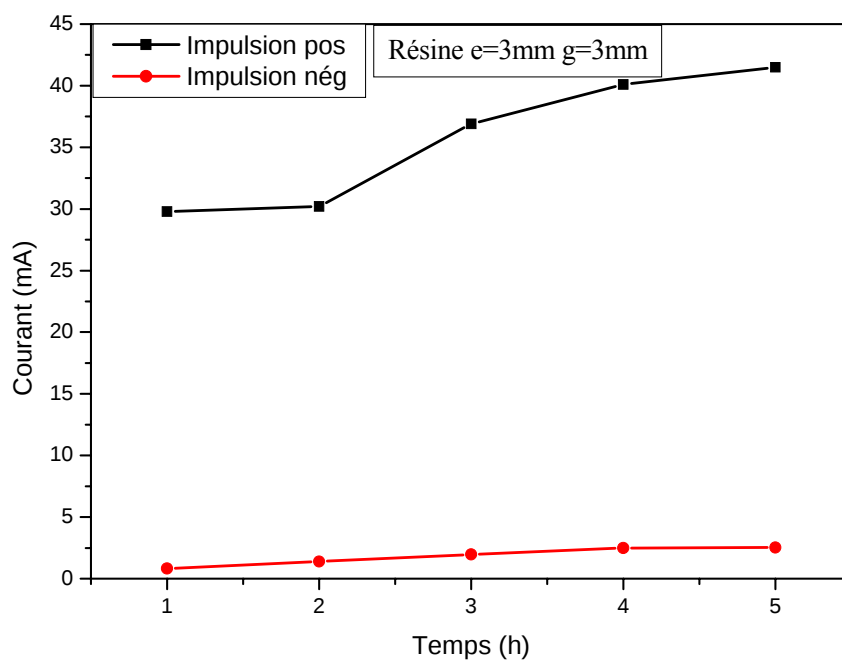


Fig III.27 Variation du courant de décharge en fonction du vieillissement pour la résine

● Pour le PP

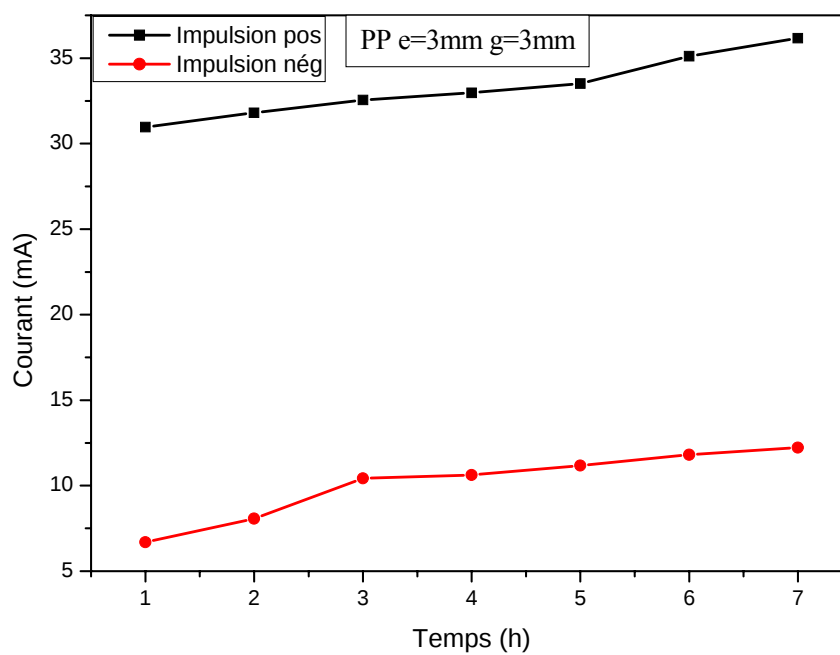


Fig III.28 Variation du courant de décharge en fonction de vieillissement pour le PP

III.7. Conclusion

D'après cette étude on conclue que la tension appliquée, les caractéristiques de la couche d'air et la durée du vieillissement sont des paramètres influençant le courant de décharge et la charge.

Conclusion générale

Ce présent travail nous a permis d'étudier les impulsions de courants associés aux décharges glissantes et leurs caractéristiques qui se propagent dans une isolation solide/air ce qui nous a amené de comprendre mieux le solide et le processus de dégradation sous l'action de décharges électriques.

Nous avons conclu que l'amplitude, la forme et la polarité de la tension, la couche d'air et le vieillissement ont un rôle important dans la génération et la propagation des décharges

L'enregistrement des courants associés aux décharges glissantes nous ont permis de mettre en évidence l'existence d'une décharge secondaire du signe opposé à celui de la décharge principale et de tension appliquée. Cela pourrait être dû à l'accumulation de charges surfaciques à la surface du solide diélectrique. Aussi, les matériaux pour lesquels les décharges glissantes sont plus courtes accumulent moins de charges surfaciques et les courants (charge électrique) correspondant à la décharge secondaire sont moins importants.

Les impulsions de courant de décharge augmentent quasi-linéairement avec l'amplitude de la tension appliquée leur nombre est plus important en alternances négatives qu'en alternance positive. Cependant leur amplitude est plus grande en polarité positive.

Le temps de montée moyen des impulsions de courant positives est plus grand que celui des impulsions négatives, le temps de descente moyen est pratiquement le même pour les deux impulsions quelque soit leur polarité.

Le courant maximum et la charge associés à la décharge augmentent avec l'augmentation de la permittivité du matériau solide et diminuent avec l'augmentation de la couche d'air.

Le courant varie très peu avec l'intervalle d'air en polarité négative, ceci est dû à la formation sur le matériau solide d'une charge négative qui crée un champ qui s'oppose au champ appliqué.

Nous tenons à signaler que lors de notre étude, nous avons rencontrés des différentes difficultés concernant l'insuffisance de la documentation dans la partie théorique et pratique, aussi l'acquisition des matériels.

Enfin, on prie que notre travail servira de support aux promotions à venir pour aller plus loin dans cette étude et que les moyens nécessaires leurs seront fournis.

Bibliographie

- [1] Eddy AUBERT « Diagnostic optique du vieillissement électrique des résines époxydes sous faible champ électrique », thèse de doctorat de l'université Toulouse III-Paul Sabatier, novembre 2008.
- [2] Sarra –Bournet Christian, « Fonctionnalisation de surface de polymères par plasma à la pression atmosphérique –Animation de surface et dépôt de couches minces par un procédé de décharge par barrière diélectrique », thèse de doctorat de l'université Toulouse III-Paul Sabatier, novembre 2009.
- [3] Jérôme JOLI BOIS, « Etude et développement d'un actionneur plasma à décharge à barrière diélectrique –Application au contrôle d'écoulement sur profil d'ails », thèse de doctorat de l'université de Poitier, décembre 2008.
- [4] M.A. HANDALA, « Etude de la décharge de surface sous tension alternative 50Hz », thèse de doctorat d'état, 2007.
- [5] S. Larigaldi, « Etude expérimentale et modélisation des mécanismes physique de l'étincelle glissante », office national d'étude et de recherche aérospatiales français ,1986.
- [6] Michel Auguet et Michel Lanoz, « Traité d'électricité HT », volume XXII, Edition Géorgie, 1982.
- [7] Cours de M. M. A. HANDALA. UMMTO.
- [8] A. Oumokhtar et R. BOUARABA, « Développement de la décharge superficielle en tension alternative 50Hz », mémoire d'ingénieur dirigé par M.M. A. HANDALA, 2004.
- [9] Toshiyuki Shimazaki, « Surface discharge of solid insulator under negative impulse voltage in atmospheric air», Proceedings of the 3rd international conference on properties and application of dielectric materials, Tokyo, Japan, July 1991.
- [10] Philippe Roberte, « Matériaux d'Electrotechnique», volume II, Edition Dunod.1979.
- [11] Technique d'ingénieur D2110a, « Alliages fer Silicium» par Jean-Claude Bavy et Jean-Verdun, Responsable de développement, tôles magnétiques. 10 .12 1991.

- [12] M. MOUDOUD, «Contribution à l'étude d'une isolation solide/air soumise à une tension alternative 50Hz», Mémoire de magister dirigé par M. M. A .HANDALA, 1996.
- [13] Artificielle pollution testing of HVDC and AOC insulators, « Analysis of factors. Influencing performance», T force 04.04 of study committal 33.
- [14] « Actes de la deuxième conférence national sur la HT». CNHT. Organisée par UMMTO. 1997.
- [15] Technique d'ingénieur D2305-5, «Diélectrique solide et la charge d'espace» par Christian Laurent, Toulouse.
- [16] Anne-Marie Pointu «Décharge électrique » D322.
- [17] G-Le, C-Gary, B.Hurtzler, J-DLalot et C-Dubanton «Les propriétés diélectrique de l'air et la très haute tension» Edition Eyrolles, 1984.
- [18] T.W.DAKIN, H.M. PHILOFSKY and W.C DIVENS «Effet of disharges on the break down of solid insulation» A.I.E.E., PP154-162. May1954.
- [19] Juan Martinez-Vega «Matériaux diélectriques pour le génie électrique » La voisier 2007
- [20] Warne D.F «Génie électrotechnique» Edition 2007.
- [21] Mademoiselle. SAADI Djedjiga, «Effet de la décharge couronne sur la surface isolantes et les surfaces métalliques» mémoire de magister dirigé par M m e BITAM-MEGHRBI 2011
- [22] J.P.Trigrion, J.Verdu, A obrazynk, «Précis de matériaux plastiques» 5^{2ème} édition Afror, 1994.
- [23] M.MOUDOUD, «Etude de la conduction électrique dans les polymères isolants» Mémoire de Doctorat dirigé par M.O LAMROUS ,2010.
- [24] Jean DUMONT et Jean GUIGNARD, «Le PVC et ses application, PP » Edition Nathan, 1996.
- [25] G.Dennler, «Depols PECVD de composés de silicium sur polymère : étude de la premier phase des Depols»
- [26] J.P.Arlie «Les thermoplastiques de grand tonnage-caractéristiques techniques et économiques» Edition technique

- [27] P.Robut «Matériaux de l'électrotechnique volume II» Ed. Presses Polytechniques Romandes
- [28] M.Nagao, M. Kosakiand Y.Hase «High field conduction and space charge Formation in polypropylene Film» Properties and Appl of Diel Materials, conf.On1- (IEEE), PP 448-453. 5June 2003.
- [29] A.Joumha, J.P.Reboul and G.Texzulli «Electrode Material Effect on TSDC and I-Characteristic of Polypropylene Films» Electrets, 8th I-S-F, 7-9, PP.517-522. Septembre 1994.
- [30] A-Anton «Matériaux isolants solides-caractéristiques électriques technique de l'ingénieur D2315.1983.
- [31] Yann DOBIGNARD «Utilisation des résines Epoxy & Polyester», YD concept. 03/08/2000.
- [32] R.S.Nema and F.Zahra «Study of corona pulses in Air-Solid Interface» T.E.E.E Conference record of International Symposium on electrical Insulation, PP-407-410 Virginia, USA, 1998.
- [33] E.Nassar «Developpement of Spark Air forma Negative point» J.appl Phys, vol 42, pp-2839-2847, 1971.