



Faculté de Génie électrique et d'informatique
Département d'Electrotechnique

Mémoire

de fin d'études présenté en vue de l'obtention
du diplôme

D'INGENIEUR D'ETAT EN ELECTROTECHNIQUE
OPTION: Réseaux Électriques

Thème

Utilisation de techniques non destructives pour la
Caractérisation d'isolants utilisés en électrotechnique

Proposé et dirigé par :

Mr. M. Megherbi

Présenté par :

Mr: Haouchine Hocine

Mr: Mahamat Komaïssou Fakadi

Promotion 2008/2009

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier notre promoteur monsieur **MOHAMED MEGHERBI** qui a bien voulu nous diriger durant notre travail.

Nous tenons aussi à remercier tous les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail.

Nos remerciements vont aussi vers tous les enseignants de notre département qui ont participé à notre formation.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

- Mes parents.
- Mes frères et ma sœur.
- Mes neveux.
- Mes amis.

H. HOCINE

Je dédie ce travail à :

- Mes parents.
- Mes frères et sœurs.
- Mes cousins et cousines
- Mes amis.

MAHAMAT K. FAKADI

Sommaire

Introduction générale	1
Partie théorique	
I.1- Diélectrique	4
I.1.1- Définition	4
I.1.2-Différents types de milieu matériel	5
I.1.2.1-Milieu matériel gazeux	5
I.1.2.2- Milieu matériel liquide	5
I.1.2.3- Milieu matériel solide	5
I.1.3-Polarisation des diélectriques	5
I.1.3.1-Moment dipolaire	6
I.1.3.2-Vecteur polarisation	6
I.1.3.3-Représentation de l'état de polarisation d'un échantillon	7
I.1.3.4-Charges réelles.	8
I.1.3.5- Champ électrique et champ de déplacement à l'intérieur d'un diélectrique	8
I.1.3.6-Polarisation à l'échelle microscopique	9
I.1.3.6.1- Champ locale E_L	9
I.1.3.6.2-Facteur de polarisation α	10
I.1.3.6.3-Index de polarisation	10
I.1.3.7-Les différents types de polarisation	10
I.1.3.7.1-Polarisation électronique	10
I.1.3.7.2-Polarisation ionique (ou atomique)	11
I.1.3.7.3-Polarisation interfaciale, effet Maxwell-Wagner-Sillars.	12
I.1.3.7.4-Polarisation d'orientation ou de Debye.	13

a-Polarisation par orientation en champ sinusoïdal	15
I.1.3.7.5-Polarisation macroscopique	17
I.1.3.7.6-Polarisation spontanée	17
I.1.3.7.7-Résumé des différentes polarisations	17
I.1.4-Différents types de diélectriques	19
I.1.4.1-Diélectrique apolaire	19
I.1.4.2-Diélectrique polaire	19
a-Diélectrique isotrope	19
b-Diélectrique anisotrope	20
I.1.5-Les différents courants dans un diélectrique	20
a- Le courant de conduction	20
b- Le courant de déplacement	21
c- L courant d'absorption et de résorption	21
I.1.6- Susceptibilité diélectrique	22
I.1.7- Phénomène de relaxation dans un diélectrique	23
I.1.8- Diélectrique sans pertes	24
I.1.9- Diélectrique avec pertes	24
I.1.10- Facteur de pertes diélectriques	25
I.2- La permittivité des diélectriques	26
I.2.1-Introduction	26
I.2.2-Permittivité relative en régime permanent	27
I.2.3-Permittivité relative en régime sinusoïdal	28
I.2.3.1- Permittivité complexe et pertes diélectriques, définition	28
I.2.3.2- Permittivité et pertes en fonction de la fréquence	29

I.2.3.3- Etude des phénomènes de polarisation en fonction de la fréquence	31
I.2.3.4- Diagramme de Cole-Cole	31
I.2.3.5- Permittivité et perte en fonction de la température	32
I.3- Papier d'isolement utilisé dans les transformateurs	33
I.3.1- Introduction	33
I.3.2- Le papier	33
I.3.2.1- La composition du papier	33
a- La cellulose	34
b-L'hémicellulose	34
c-La lignine	34
I.3.2.2- Mesure du degré de polymérisation	34
I.3.2.3- Les propriétés du papier non imprégné	35
I.3.2.3.1- Epaisseur	36
I.3.2.3.2- La masse volumique	36
I.3.2.3.3- Hygroscopicité du papier non imprégné	36
I.3.2.3.4- Propriétés mécaniques du papier non imprégné	36
a- Résistance à la traction	36
b- Résistance au déchirement	36
c- Résistance au pliage	37
d- Résistance à l'éclatement	37
I.3.2.3.5- Propriétés diélectriques du papier non imprégné	37
I.3.2.3.6- Propriétés thermiques du papier non imprégné	37
a- La conductivité thermique	38
b- Stabilité thermique	38
c- Rigidité diélectrique	38
I.3.2.4- Dégradation du papier non Imprégné	38
I.3.3- Imprégnant	38
I.3.3.1- Les propriétés physique et chimique de l'huile minérale isolante	39
I.3.3.2- Le rôle de l'huile isolante	39

I.3.4 Dégradation de l'huile	39
I.3.5- Papier imprégné	40
I.3.5.1- Hygroscopicité du papier imprégné	40
I.3.5.2- Propriétés diélectriques du papier imprégné	40
a-Permittivité relative et facteur de dissipation diélectrique	40
I.3.6- Vieillissement thermique et électrique du papier imprégné	41
I.3.7- Mécanismes de claquage	41
I.4. Le Poly méthacrylate de méthyle (PMMA)	42
a- Polymérisation en masse	42
b- Polymérisation en solution	42
c- La polymérisation en émulsion	42
I.4.1- Procédés de fabrications concurrentes	42
I.4.2- Caractéristiques du (PMMA)	43
a- Caractéristiques physiques	43
b- Caractéristiques mécaniques	43
c- Caractéristiques thermiques	44
d- Caractéristiques chimiques	44
I.4.3- Caractéristiques optiques	45
I.4.4- Caractéristiques électriques	45
I.4.5- Avantages et inconvénients	45
a. Avantages	45
b. Inconvénients	45

Partie expérimentale

II.1-Introduction	46
II.2-Notion de base sur la tension de retour	46
II.2.1-Introduction	46
II.2.2- Définition de la tension de retour ou tension résiduelle	46
II.2.3- Le principe de mesure de la tension de retour et interprétation	47
II.3-Etude expérimentale de la tension de retour	49
II.3.1-Description du dispositif expérimental	49
II.3.2- Application de méthode RVM à du papier non imprégné	49
II.3.2.1-Détermination de la teneur en eau du papier non imprégné	49
II.3.2.2.- Influence du temps de court-circuit	51
a) Premier essai	51
b) Deuxième essai	52
c) Troisième essai	53
d) Quatrième essai	54
e) Cinquième essai	55
f) sixième essai	56
II.3.3- Application de méthode RVM à du papier imprégné	57
II.3.3.1- Influence de la tension de charge sur du papier imprégné	57
a) Première essai	57
b) Deuxième essai	59
c) Troisième essai	60
II.3.4- Etude de la tension de retour pour le Poly méthacrylate de méthyle (PMMA)	62
II.3.4.1-Influence du temps de court-circuit et de la tension de charge	62
I.2.2.4.2- Influence du temps de charge	63
Conclusion générale	65
Bibliographie	66

Introduction générale

L'étude des matériaux diélectriques a commencé avec le début du siècle passé et les efforts en vue de concevoir des produits nouveaux n'ont jamais connu de cesse. C'est surtout dans les trente dernières années du vingtième siècle, suite à la crise pétrolière, qu'un intérêt très fort fut accordé aux matériaux. L'industrie des plastiques avait traversé à l'époque une crise profonde laquelle avait provoqué un réel manque de matières premières sur le marché initiant ainsi une escalade dans les prix des polymères. Cette situation critique a amené les industriels à se tourner vers de nouveaux matériaux moins gourmands en produits pétroliers. Les matériaux composites ont également fait l'objet de recherches poussées mais cela dans des domaines dépassant largement celui des diélectriques.

Dans le domaine du génie électrique l'application de l'isolation composite à base de polymères chargés avec des minéraux et renforcés avec des fibres avait connu une augmentation tout à fait spectaculaire dans les applications de la haute tension. Aussi, les propriétés électriques des composites métal-isolant, comportant des particules métalliques ou des fibres conductrices (exemple : le noir de carbone), ont été le sujet de nombreuses études aussi bien de la part des physiciens travaillant dans le domaine de la physique du solide, pour des raisons théoriques, que de la part des ingénieurs des polymères, pour les applications industrielles. Ces composites, ayant une conductivité électrique plus importante que la plupart des polymères, sont largement répandus dans les applications du type écrans électromagnétiques pour les dispositifs électriques ou de l'élimination de la charge électrostatique dans les composants électroniques en vue de leur protection. Grâce à la capacité d'absorption des ondes radio, ces matériaux sont aussi utilisés pour les couvertures radar. Un grand intérêt est apporté aux polymères chargés à la céramique piézoélectrique (par exemple le titanate de baryum [1]); de tels composites sont utilisés pour la confection des capteurs. Outre les polymères chargés, une grande attention est consacrée aux céramiques poreuses en particulier à leur frittage micro ondes. Des efforts sont également déployés pour assurer un meilleur contrôle de l'effet de la porosité sur la constante diélectrique. A titre d'exemple, on peut citer l'oxyde de zinc (ZnO), largement répandu dans la fabrication des varistances, produits ayant une importance commerciale considérable.

Il est à noter que l'usage des diélectriques dans l'exploitation des matériels haute tension, pose de sérieux problèmes pouvant menacer la fiabilité, voire la sûreté de fonctionnement des systèmes électro-énergétiques. Un problème aussi sérieux que compliqué provient souvent de la présence d'eau dans l'isolation, cela peut se manifester par la présence d'humidité dans l'huile de transformateurs, sur les surfaces des isolateurs ou dans les corps des isolants solides tels le papier ou autres matériaux composites. L'impératif d'éviter toute réduction rapide des performances des matériels haute tension impose de pouvoir, autant que faire se peut, effectuer des diagnostics et d'en interpréter les résultats suffisamment à l'avance pour éviter toute avarie imprévue.

Les succès remportés par les nouveaux matériaux diélectriques sont toujours dus aux améliorations qu'ils introduisent au niveau de la fiabilité et de la durée de vie mais surtout de la compétitivité sur le plan économique. Parmi ces nouveaux produits beaucoup sont constitués de longues chaînes constituant les macromolécules. Cependant, les propriétés électriques de ces matériaux dépendent de la structure chimique des macromolécules qui les constituent mais aussi de différents facteurs, en particulier des adjuvants introduits volontairement pour la rigidité mécanique. La nature de la charge minérale ou organique joue un rôle déterminant sur les propriétés électriques des matériaux. C'est ainsi que pour répondre aux exigences propres à un champ d'application, de nombreux matériaux diélectriques sont classés en fonction de leurs rigidités diélectriques, leurs facteurs de dissipation diélectrique et leurs permittivités. Les matériaux diélectriques permettant d'augmenter la capacité des condensateurs, la connaissance de leur permittivité, caractéristique macroscopique revêt une importance primordiale. Parmi tous les matériaux isolants utilisés en électrotechnique le papier occupe une place particulière. En effet c'est le matériau qui a été le premier à être utilisé dans ce domaine et les recherches n'ont jamais cessé quant à son amélioration. Cette amélioration a porté sur les qualités du papier lui-même, ce qui a conduit à augmenter sa pureté et à rechercher les propriétés physiques susceptibles de lui conférer des caractéristiques diélectriques satisfaisantes.

La mesure de la tension de retour ou (recovery voltage en anglais) est l'une des méthodes actuelles utilisées pour caractériser l'isolation des systèmes. C'est cette méthode de diagnostic non destructif que nous allons décrire dans ce qui suit. Nous

l'avons appliquée à des échantillons de papier pour essayer de comprendre comment ce matériau répond-il à une application d'un échelon de tension. C'est de cette façon que l'on pourra mettre en évidence les phénomènes de la relaxation diélectrique suite à une polarisation.

Dans le travail présenté dans le cadre de ce mémoire nous nous sommes appliqués à mener des expériences sur du papier utilisé dans l'isolation des transformateurs de puissance. La méthode utilisée est celle des tensions de retour. Le travail effectué a essayé d'examiner au mieux les effets du temps de charge et du temps de mise en court-circuit. Considérant le contenu de ce travail nous avons opté pour sa présentation en deux parties.

Dans la première partie, nous donnons les notions de base des diélectriques ainsi qu'une description des propriétés du papier isolant mais également du polyméthacrylate de méthyle (PMMA). Ce dernier matériau n'a pas été étudié avec autant d'attention que le papier mais seulement à titre complémentaire pour mettre en évidence le phénomène général du recovery voltage. Dans la deuxième partie nous nous sommes intéressés à l'étude de la tension de retour d'un condensateur plan, constitué de divers diélectriques à savoir le papier non imprégné, le papier imprégné et le polyméthacrylate de méthyle (PMMA). Nous terminons enfin notre travail par une conclusion générale où nous mettons l'accent sur les perspectives que pourrait ouvrir ce travail.

Partie théorique

Partie expérimentale

II.1- Introduction

Nous nous intéressons dans cette partie du travail à la caractérisation du papier isolant par des techniques de diagnostic non destructives. Nous nous appliquerons donc à réaliser les essais nous permettant d'étudier l'évolution temporelle de la tension de retour.

Avant de parler des essais proprement dits, il nous semble judicieux de donner un aperçu sur les phénomènes régissant la tension de retour.

II.2- Notion de base sur la tension de retour

II.2.1- Introduction

La mesure de la tension de retour ou (Recovery Voltage Measurement en anglais), est érigée comme méthode de caractérisation non destructive de l'isolation des systèmes. Elle a été mise au point dans les années soixante dix à l'Université Technique de Budapest pour évaluer les caractéristiques d'une isolation, cette technique fut ensuite vite abandonnée. Ce n'est que dans les années quatre vingt dix qu'un regain d'intérêt pour cette méthode se fit sentir, cela dans le but d'évaluer la qualité de séchage de l'isolation des transformateurs durant le processus de leur fabrication ou lors d'éventuelles réparations. Cette méthode est la première à être utilisée pour étudier la partie lente de relaxation de la polarisation [11]. La méthode **RVM** (Recovery Voltage Measurement) permet également de mesurer les impacts éventuels du transport ou du stockage des transformateurs avant et après apport d'huile dans la cuve. Elle fournit des données sur l'état général de l'isolation tout en offrant des possibilités d'appréciation du vieillissement diélectrique d'une isolation au papier imprégné. Les mesures de tension de retour que nous avons réalisées expérimentalement, révèlent un lien direct avec la teneur en eau de l'isolation huile/papier, cela semble être dû au caractère polaire affirmé de la molécule d'eau. Le type de polarisation prévalant dans un tel cas demeure la polarisation dipolaire caractérisée par de grandes constantes de temps

II.2.2- Définition de la tension de retour

Lorsque l'on court-circuite les armatures d'un condensateur préalablement chargé, la tension à ses bornes s'annule et l'on dit que le condensateur est déchargé. Si cela est vrai dans la majorité des cas, il n'en demeure pas moins que dans d'autres que la tension puisse remonter à l'ouverture du court circuit. Ce phénomène connu des praticiens de la haute tension surtout pour sa dangerosité est intimement lié aux processus de polarisation, particulièrement ceux relatifs à la polarisation interfaciale dans les matériaux non homogènes. C'est cette remontée de potentiel après l'ouverture d'un court circuit que nous appelons la "tension de retour".

II.2.3- Le principe de mesure de la tension de retour et interprétation

La méthode RVM est basée sur la détermination de la tension de retour suite à l'application d'une tension continue, en chargeant l'isolation. Cette méthode constitue un moyen d'obtenir des informations sur l'état du papier. Dans le cas des transformateurs, cette méthode peut être utilisée lors des essais de réception destinés à vérifier si leurs caractéristiques n'ont pas été affectées par les procédures de manutention du matériel. La mesure de la tension de retour peut aussi jouer le rôle d'indicateur d'une prise d'humidité d'une isolation contenant du papier.

Sur la figure (II.1) est montré le circuit utilisé pour la mesure de la tension de retour.

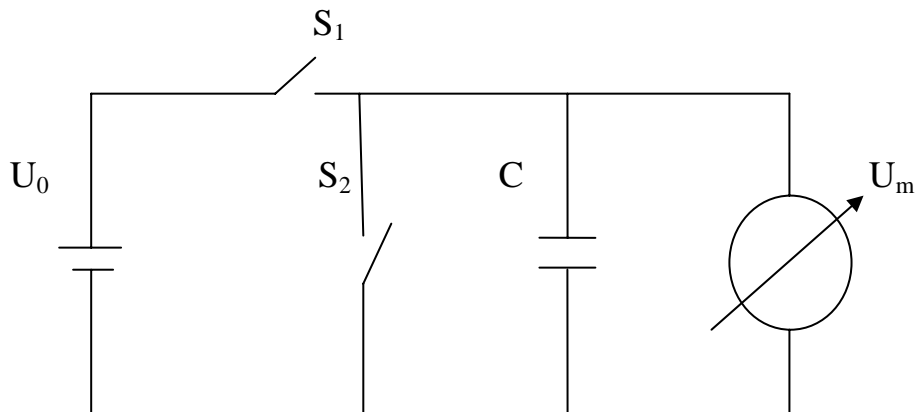


Figure (II.1) : Le circuit de mesure de la tension de retour.

La méthode de mesure de la tension de retour s'effectue selon les quatre étapes suivantes :

- ✓ L'interrupteur S_1 est fermé durant un temps t_c appelé temps de charge. L'objet d'essai de capacité C se charge pratiquement sous la tension U_0 . Durant la charge, les molécules se polarisent et tendent à s'aligner dans la direction du champ appliqué.
- ✓ S_1 est ensuite ouvert alors que S_2 est fermé pendant un temps dit de décharge noté t_d . Ce temps de décharge t_d est généralement pris égal à la moitié du temps de charge t_c . Durant ce laps de temps la charge portée par les armatures s'annule et le processus de relaxation, assez lent, s'enclenche. Le matériau se dépolarise partiellement.

- ✓ Après le temps t_d , le court-circuit est ouvert, une tension évoluant dans le temps apparaît alors. C'est cette tension que nous enregistrons à l'aide d'un multimètre numérique programmable.
- ✓ A la fin de l'enregistrement, on procède à une remise en court-circuit jusqu'à ce que l'isolant soit pratiquement déchargé. Une fois l'échantillon complètement déchargé, on peut reprendre le cycle en faisant varier les temps t_c et t_d .

Sur la figure (II.2) nous donnons de façon synoptique les différentes phases d'un cycle de mesure de la tension de retour :

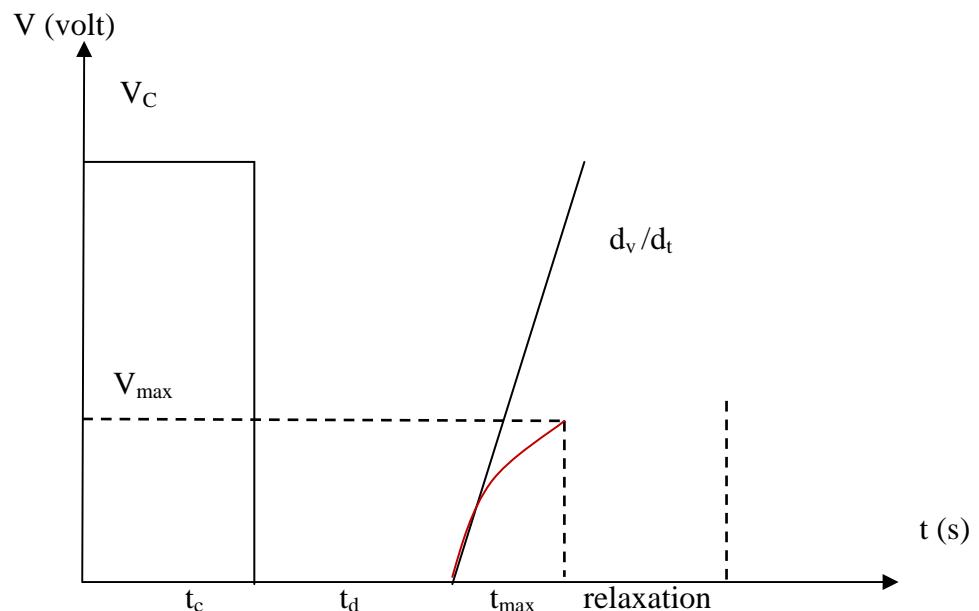


Figure (II.2) : Le cycle de mesure de la tension de retour [12].

Le temps t_{max} , correspondant à la tension maximale, représente le temps entre le premier prélèvement et le maximum de la tension de retour. C'est le paramètre utilisé pour évaluer les conditions de l'isolation à partir de la mesure de la tension de retour. Le déplacement du maximum de la courbe vers une petite constante de temps est attribué selon certains à une dégradation du système d'isolation [13]. Il est également accepté que si un système d'isolation présente une faible teneur en humidité il aura une polarisation lente [14]. Ceci signifie que l'isolation présentera une valeur élevée de la tension de retour.

II.3- Etude expérimentale de la tension de retour

Dans cette partie on s'intéresse à l'évolution temporelle de la tension de retour en fonction du temps de court-circuit de six échantillons de papier non imprégné.

II.3.1-Description du dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé dans notre travail est constitué d'une source de haute tension continue, un dispositif nous permettant d'établir et d'enlever le court-circuit aux bornes de l'échantillon et un condensateur plan dont les électrodes sont en acier inoxydable. Les électrodes sont séparées par du papier non imprégné de forme circulaire. Un multimètre électronique nous permet de mesurer la tension de retour. Une représentation schématique du dispositif expérimental est donnée par la figure suivante (figure II.3) :

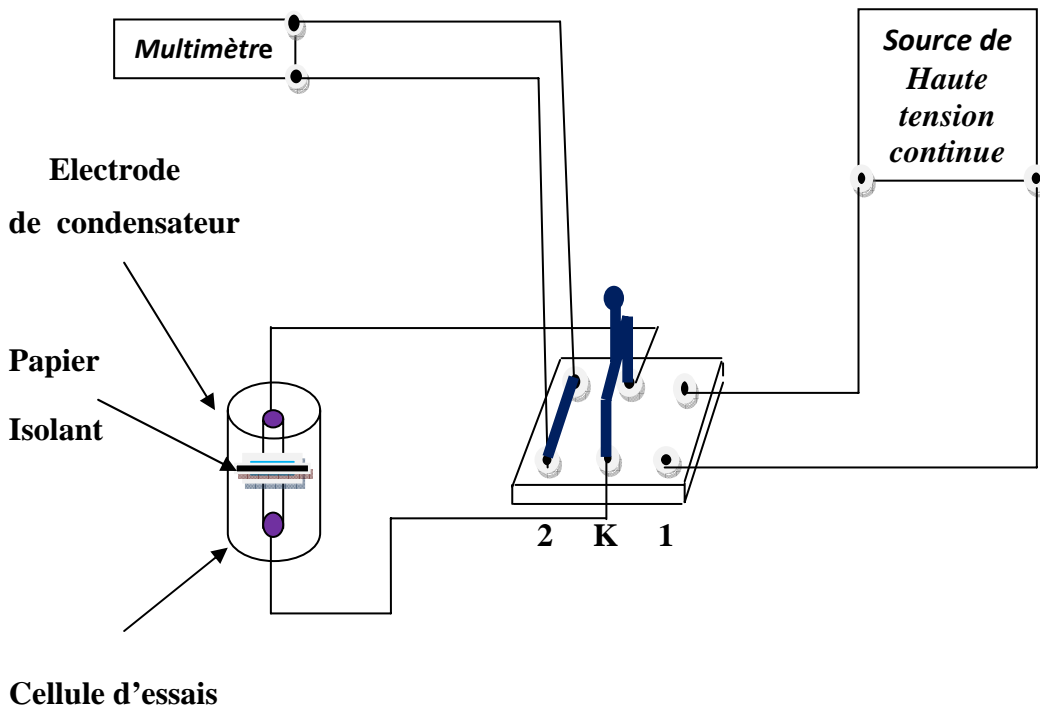


Figure (II-3) : Représentation schématique du dispositif expérimental.

II.3.2- Application de méthode RVM à du papier non imprégné

II.3.2.1- Détermination de la teneur en eau du papier non imprégné

La mesure de la teneur en eau s'effectue par une méthode pondérale. La teneur en eau d'un échantillon est déterminée à partir de la perte de masse suite à un chauffage à l'air ambiant à des températures comprises entre 90 et 105°C et cela afin d'éviter la dégradation du papier par

pyrolyse. La température est mesurée à l'aide d'un thermomètre thermique et peut être corrigée à chaque instant par action sur un autotransformateur alimentant les résistances de chauffage.

Soit M_1 la masse initiale de l'échantillon du papier non imprégné, M_2 la masse à l'essai après avoir été sorti du four à une température de 90°C pendant 45 mn pour évacuer l'humidité.

Alors la valeur du taux d'humidité est obtenue par la formule suivante :

$$\mathbf{H\% = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100}$$

La mesure de la tension de retour s'effectue en quatre étapes :

➤ Première étape

On ferme le dispositif K (on le met sur la position 1) pendant un temps dit de charge t_c , le condensateur se charge à travers une source de haute tension continue.

➤ Deuxième étape

On ouvre le dispositif K (on le met sur la position 2) pendant un temps t_d dit de décharge. Le condensateur se retrouve en court circuit.

➤ Troisième étape

C'est la mesure de la tension de retour. Après le temps de décharge, on ouvre le court-circuit puis on relève les valeurs des tensions de retour à l'aide d'un multimètre de grande impédance d'entrée, pendant 180 secondes. Pour chaque seconde correspond une valeur de la tension de retour.

➤ Quatrième étape:

A la fin de l'enregistrement, on procède à une remise en court-circuit jusqu'à ce que l'isolant soit pratiquement déchargé. Une fois l'échantillon complètement déchargé, on peut reprendre le cycle en faisant varier les temps t_c et t_d .

Après ces quatre étapes, nous traçons la courbe de la tension de retour en fonction du temps.

II.3.2.2.- Influence du temps de court-circuit

Dans cet essai, nous avons utilisé six échantillons de papier non imprégné avec des différentes teneurs en eau. On charge le condensateur plan pendant un temps égal à deux fois le temps de décharge sous une tension continue de 5 kV, puis on relève pour chaque essai les valeurs de la tension de retour au moment de l'ouverture du court circuit. Le temps de court-circuit total de chaque expérience pour les différents échantillons de papier est de 32 minutes.

a) Premier essai

Dans cet essai, nous avons utilisé un premier échantillon de papier non imprégné dont la teneur en eau est de 1.33% avec une épaisseur de 0.5mm. Le condensateur est chargé pendant 20 mn sous une tension continue de 5 kV, ensuite on le court-circuite pendant un temps variable (10, 8, 6, 4, 2,1 mn). On procède ensuite à l'enregistrement des valeurs de la tension de retour juste après l'ouverture du court-circuit (Figure II.4).

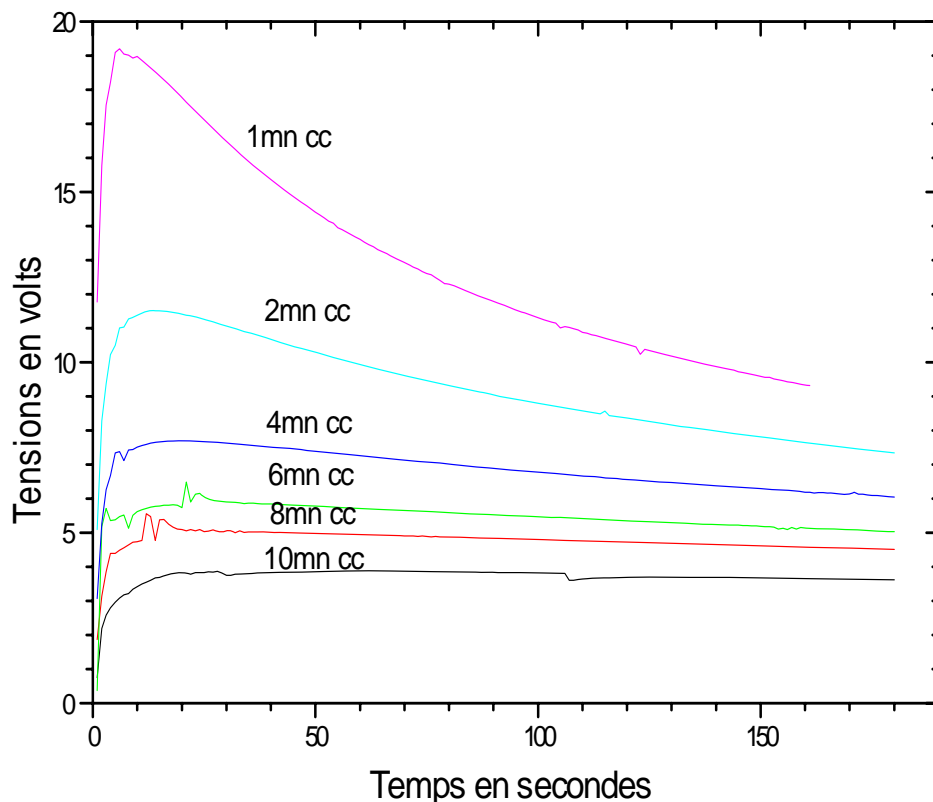


Figure (II.4) : Variation temporelle de la tension de retour pour différents temps de court-circuit pour une tension de charge de 5kV.

Interprétation des résultats

On constate que la durée du court-circuit influe sur la tension de retour. En effet une faible durée de court circuit provoque une augmentation de la tension de retour, car les dipôles n'ont pas le temps nécessaire pour se réorienter de façon aléatoire. Après un certain temps, les valeurs des tensions sont presque constantes, parce que le phénomène de relaxation devient plus lent à cause probablement des charges piégées aux interfaces cellulose-air ou cellulose-eau, cela se traduit par une tension de retour demeurant presque constante.

b) Deuxième essai

Dans ce deuxième essai, nous avons utilisé un échantillon de papier non imprégné dont la teneur en eau est de 1.15%, avec une épaisseur de 0.5 mm. On le charge pendant 10 mn sous une tension continue de 5 kV, ensuite on le court-circuite pendant un temps variable (5, 4, 3, 2, 1 mn) puis on relève les valeurs de la tension de retour au moment de l'ouverture du court circuit (Figure II.5).

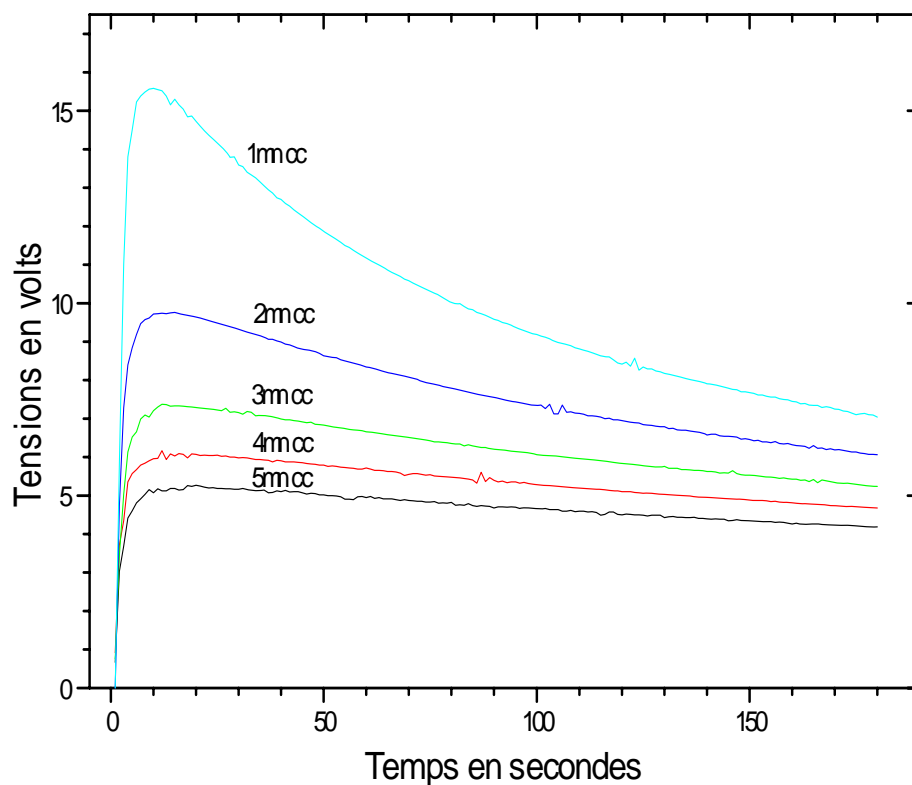


Figure (II.5) : Variation temporelle de la tension de retour pour différents temps de court-circuit pour une tension de charge de 5kV.

Interprétation des résultats

On constate que la durée du court-circuit influe sur la tension de retour. En effet une faible durée de court-circuit provoque une augmentation de la tension de retour, les molécules n'ayant pas le temps nécessaire pour retourner à leur état initial. Nous constatons aussi, que la tension de retour tend à diminuer pour des temps de charge plus petits.

b) Troisième essai

Dans cet essai, nous avons utilisé un échantillon de papier non imprégné dont la teneur en eau initiale est de 1.24%, d'épaisseur 0.5mm. On le charge pendant 10mn sous une tension continue de 5 kV, ensuite on le court circuit pendant un temps variable (5, 4, 3, 2,1mn) puis on relève les valeurs de la tension de retour au moment de l'ouverture du court circuit (Figure II.6).

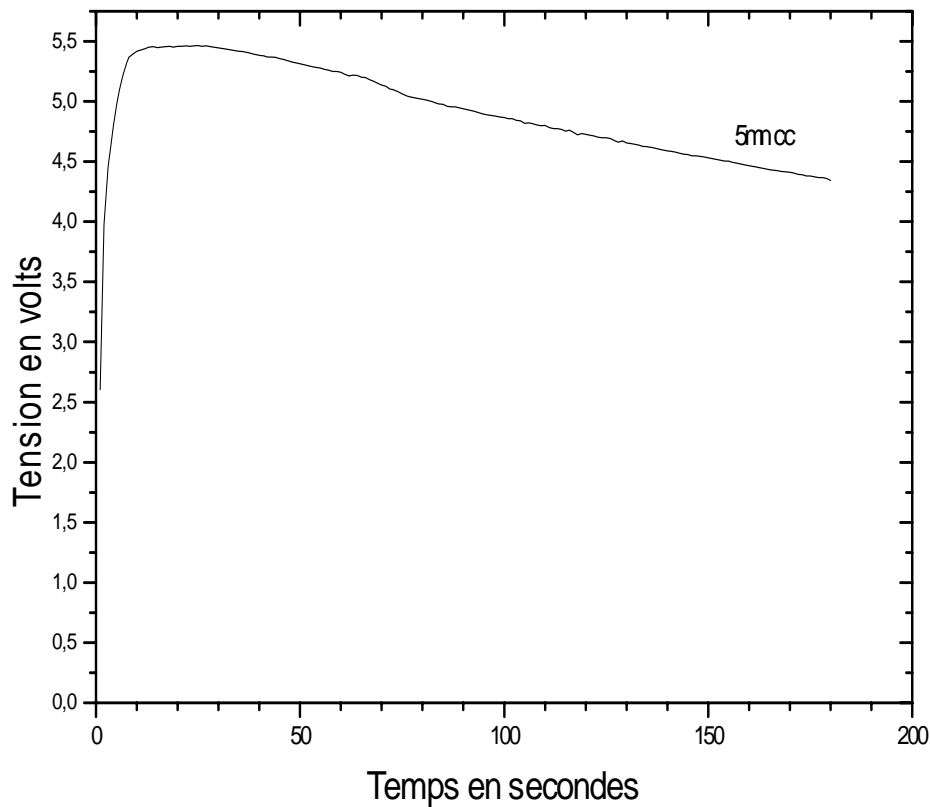


Figure II.6. Variation temporelle de la tension de retour pour différents temps de court circuit une tension de charge de 5kV

Interprétation des résultats

L'échantillon de papier n'a pas pu supporter la tension qu'on lui a appliquée, ce qui a entraîné un claquage de celui-ci au deuxième essai (4mn de court-circuit).

c) Quatrième essai

Dans ce quatrième essai, nous avons utilisé un échantillon de papier non imprégné dont la teneur en eau initiale est de 6%, d'épaisseur 0.5mm. On le charge pendant 10 mn sous une tension continue de 5kV, ensuite on le court-circuite pendant un temps variable (5, 3, 1 mn) puis on relève les valeurs de la tension de retour au moment de l'ouverture du court circuit (Figure II.7).

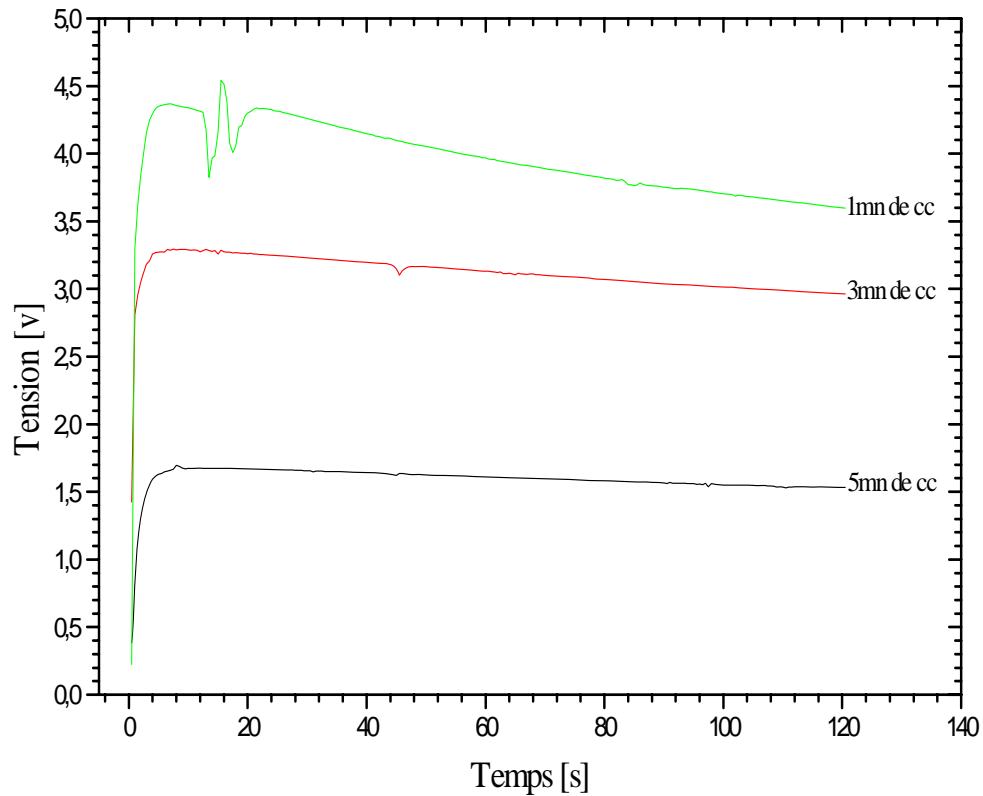


Figure II.7 : variation temporelle de la tension de retour pour une tension de charge de 5kV et 10mn de temps de charge et un temps de court circuit variable, pour une teneur en eau initiale de 6%.

Interprétation des résultats

On constate que la durée du court circuit influe sur la tension de retour. En effet une faible durée de court-circuit provoque une augmentation de la tension de retour, comme dit auparavant, les charges de polarisation n'ont pas eu le temps de se neutraliser

d) Cinquième essai

Pour cet essai, la teneur en eau initiale du papier est de 1%, et d'épaisseur 0.5mm. Il est chargé pendant 10 mn sous une tension continue de 5kV. Il est court-circuité ensuite pendant des temps variables 5, 3 et 1mn, puis les valeurs de la tension de retour au moment de l'ouverture du court-circuit nous donnent le graphe suivant (Figure II.8) :

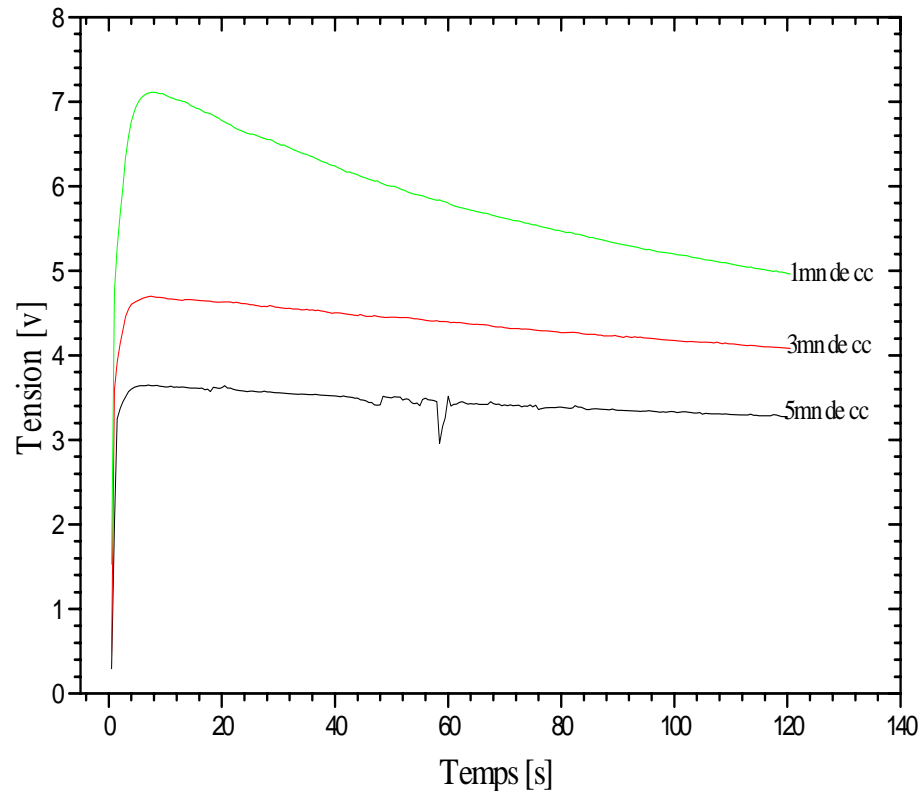


Figure II.8 : variation temporelle de la tension de retour pour une tension de charge de 5kV et 10mn de temps de charge et un temps de court circuit variable, pour une teneur en eau initiale de 1%.

Interprétation des résultats

La figure II.8 montre que de manière semblable aux cas précédents, nous remarquons l'effet de la durée du temps de court-circuit sur la tension de retour, ce qui répond aux explications déjà avancées pour cela.

e) **sixième essai**

Dans cet essai, nous avons utilisé le même échantillon de papier non imprégné traité durant le cinquième essai avec une teneur en eau initiale est de 1%. On le charge pendant 10 mn sous une tension continue variable de (5 kV, 7.5 kV) ensuite on le court-circuite pendant 1 mn puis on relève les valeurs de la tension de retour au moment de l'ouverture du court-circuit (Figure II.9).

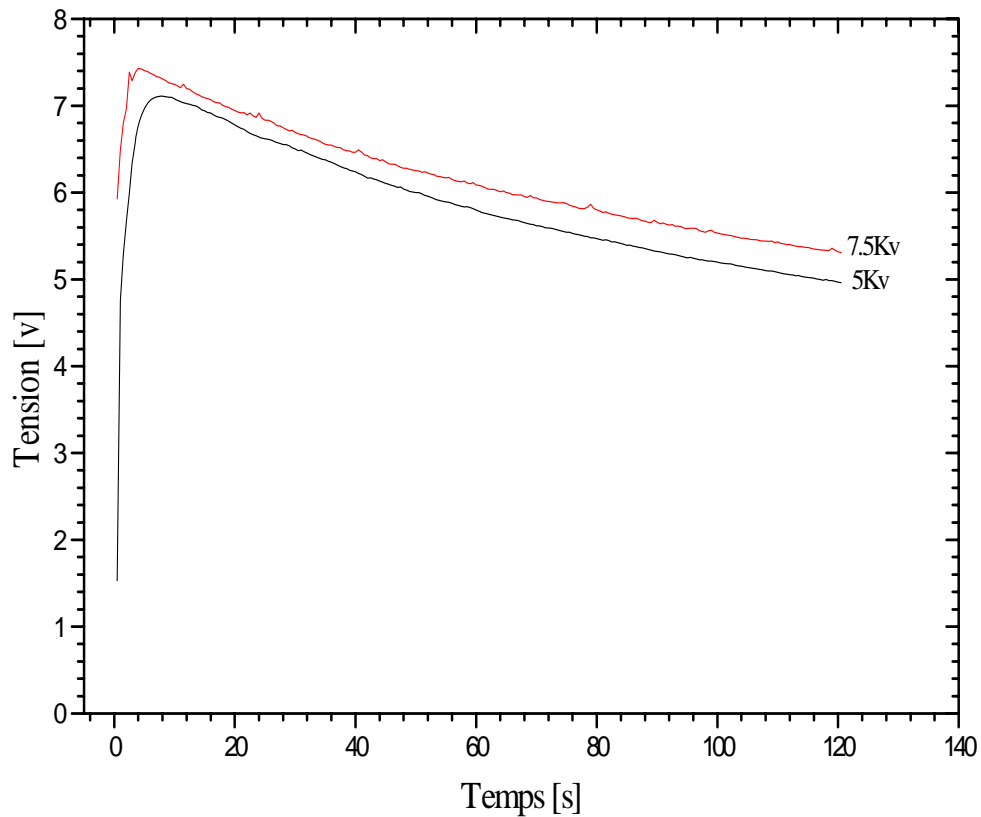


Figure II.9 : variation temporelle de la tension de retour pour une tension de charge variable (5kV et 7.5kV), de temps de charge de 10 mn et un temps de court-circuit de 1mn, pour une teneur en eau initiale de 1%.

Interprétation des résultats

En se référant à ces courbes, nous constatons que la tension résiduelle augmente avec le niveau de tension appliquée, car l'augmentation de la tension de charge appliquée provoque une augmentation de la polarisation des charges résiduelles.

Un claquage est survenu lors d'un essai avec une tension de 10kV.

II.3.3- Application de méthode RVM à du papier imprégné

II.3.3.1- Influence de la tension de charge sur du papier imprégné

Dans cet essai, nous avons utilisé trois échantillons de papier imprégné d'huile minérale, avec différentes teneurs en eau. Les échantillons ont une teneur en eau avant immersion de 7.65% puis on les chauffe à une température de 120°C pour avoir différentes teneur en eau à l'essai. Les trois échantillons sont imprégnés dans une huile minérale pendant 24 heures pour le premier échantillon et 48 heures pour les deux autres échantillons. On charge le condensateur plan, dont le diélectrique est les trois échantillons de papier imprégné, pendant un temps de charge égal à deux fois le temps de décharge sous une tension continue variable puis on relève les valeurs de la tension de retour au moment de l'ouverture du court-circuit. Les valeurs de la tension de retour sont prélevées avec un pas de 0.5 seconde pendant deux minutes. Le temps global de court-circuit pour chaque essai est de 30 mn.

a) Première essai

Pour ce premier essai, nous avons utilisé un échantillon de papier imprégné dans huile minérale dont la teneur en eau initiale est de 0.5% et d'épaisseur 0.5 mm. L'échantillon est imprégné dans une huile minérale pendant 24heures. Le condensateur est chargé pendant 10 mn sous des tensions continues variables de 5 kV, 7.5 kV, 10 kV, 12 kV et 15 kV. Ensuite, il est mis en court-circuit pendant 1 mn. Le relevé de la tension de retour est effectué au moment de l'ouverture du court-circuit. Les caractéristiques de la tension de retour en fonction du temps sont représentées par la figure (II.10).

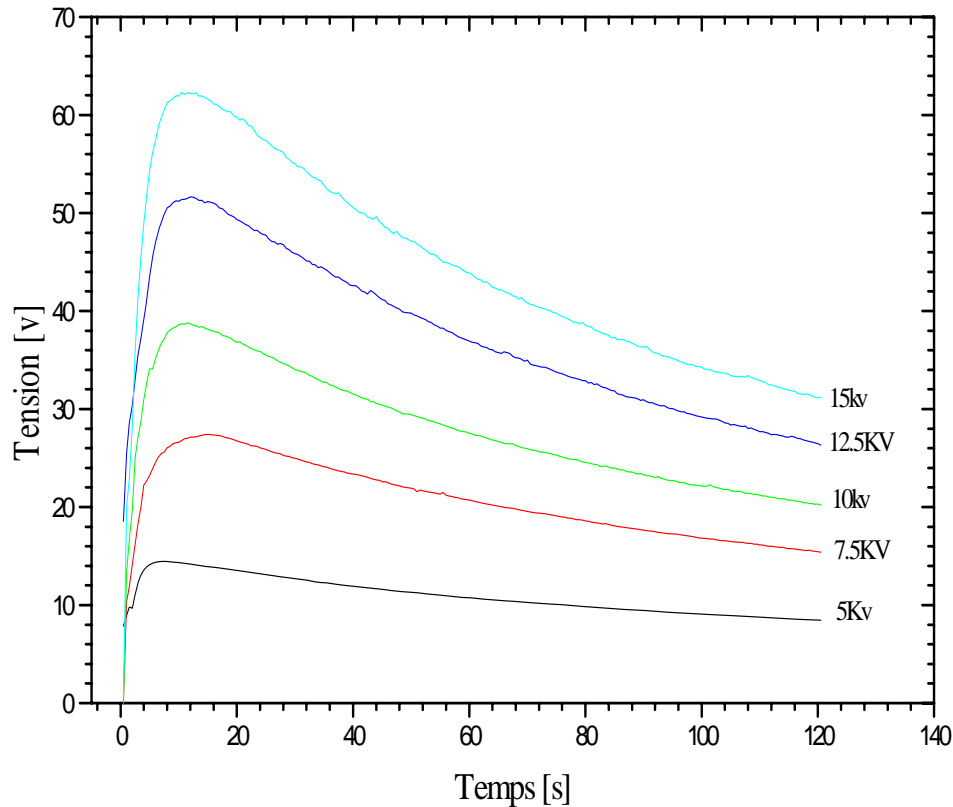


Figure II.10 : Variation temporelle de la tension de retour pour une tension de charge variable, un temps de charge de 10mn et un temps de court circuit 1mn, pour une teneur en eau initiale de 0.5%, pour un papier imprégné d'huile minérale pendant 24 heures.

Tableau(I.1) : Tableau des maximums des tensions de retour et les temps correspondants

Tension appliquée (kV)	Maximums des tensions de retour (V)	Temps correspondants (s)
5	14,46	7
7.5	27,40	15
10	38,78	11.5
12.5	51.66	12
15	62.28	10.5

Interprétation des résultats

En se référant à ces courbes, la tension résiduelle augmente avec le niveau de tension appliquée, car l'augmentation de la tension de charge appliquée provoque une forte augmentation de la polarisation des charges résiduelles. Après un certain temps, les valeurs des tensions sont presque constantes, parce que les molécules subissent le phénomène de la relaxation, donc la tension de retour demeure quasi constante. Un claquage est survenu lors de l'application d'une tension de 17.5kV.

b) Deuxième essai

Dans cet essai, nous avons utilisé un échantillon de papier imprégné d'huile minérale dont la teneur en eau initiale est de 2.5%, et d'épaisseur 0.5 mm. L'échantillon est imprégné dans une huile minérale pendant 48 heures. On le charge pendant 10 mn sous des tensions continues variables de 5kV, 7.5kV, 10kV, 12,5kV et 15kV. On le court-circuite ensuite pendant 1 mn, puis on relève les valeurs de la tension de retour au moment de l'ouverture du court-circuit. Les caractéristiques de la tension de retour en fonction du temps sont représentées par la figure (II.11).

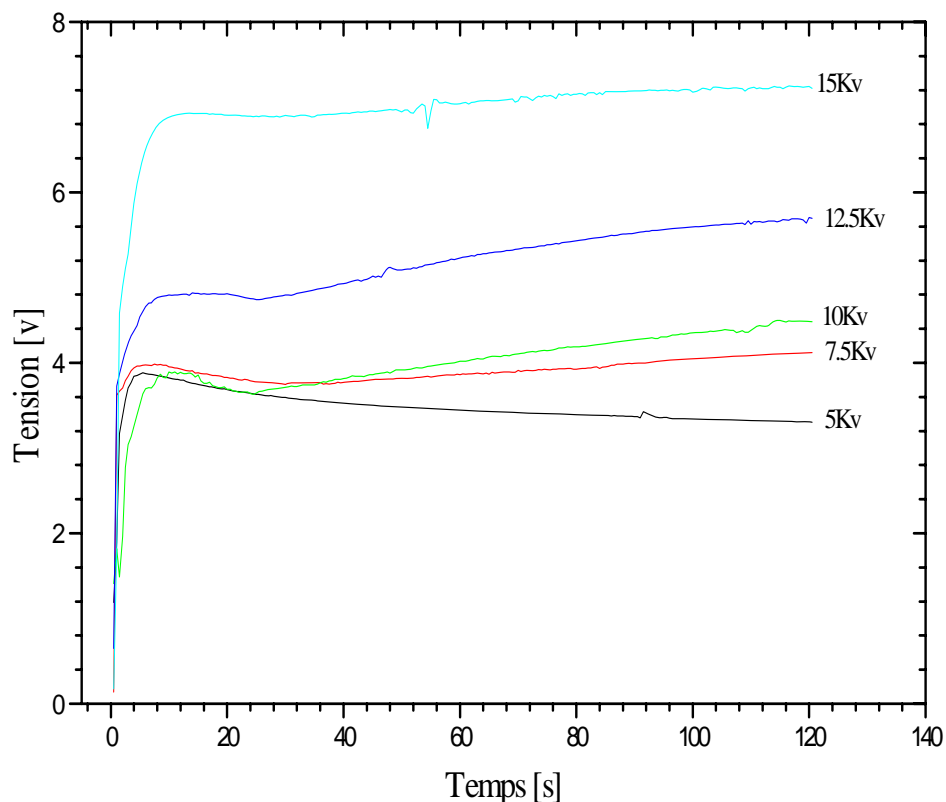


Figure II.11 : Variation temporelle de la tension de retour pour une tension de charge variable, un temps de charge de 10mn et un temps de court circuit 1mn, pour une teneur initiale de 2.5%, pour un papier imprégné d'huile minérale pendant 48 heures.

Interprétation des résultats

L'examen de ces courbes montre que la tension résiduelle augmente avec le niveau de tension appliquée, cela s'explique par le fait que plus l'apport d'énergie est grand, plus la charge de polarisation est importante.

Pour le premier niveau de tension appliqué de 5kV, on a la courbe qui présente un pic pour ensuite, redescendre progressivement vers des valeurs de la tension de retour pratiquement

constantes. Pour le deuxième niveau de tension appliqué 7.5kV, la courbe présente presque la même allure que la précédente avec une atténuation dans un intervalle de temps [20s, 40s], la courbe remonte progressivement vers des tensions plus élevées, contrairement à la première courbe. La troisième courbe qui représente un niveau de tension de 10 kV suit la même allure que la précédente avec une faible augmentation du niveau de tension de retour.

Les trois premières courbes pour les tensions continues variables de 5kV, 7.5kV et 10kV, avec des niveaux de tension de charge différents ont presque toutes un premier pic identique, ce qui nous amène à dire que la tension de retour n'a pas augmenté avec l'augmentation de la tension de charge. Nous constatons aussi, pour la quatrième et la cinquième courbe pour des tensions continues de charges respectives de 12.5kV et 15kV que les niveaux des tensions résiduelles augmentent avec l'augmentation de la tension de charge donnant les mêmes allures que celles obtenues pour les tensions de charges de 7.5kV et 10kV.

c) Troisième essai

Dans cet essai, nous avons utilisé un échantillon de papier imprégné d'huile minérale dont la teneur en eau initiale est de 6% et d'épaisseur 0.5mm. L'échantillon est imprégné dans une huile minérale pendant 48 heures. On le charge pendant 10 mn sous des tensions continues variables de 5kV et 7.5kV ensuite on le court-circuite pendant 1 mn puis nous notons les valeurs de la tension de retour. Les caractéristiques de la tension de retour en fonction du temps sont représentées par la figure (II.12).

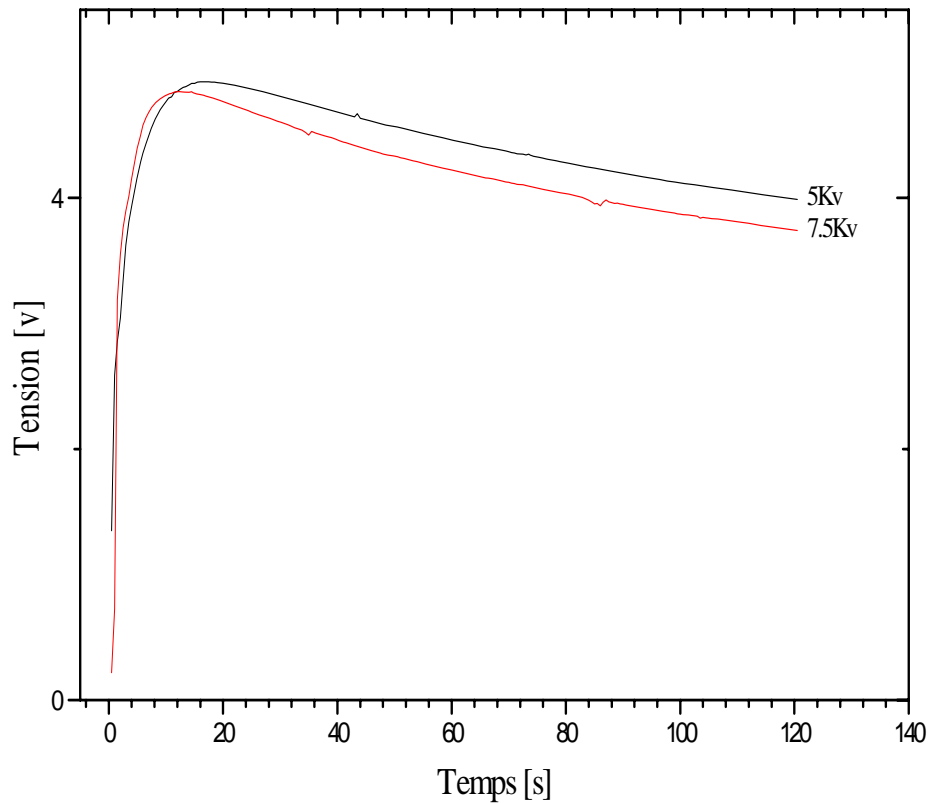


Figure II.12 : variation temporelle de la tension de retour pour des tensions de charges variables, un temps de charge de 10mn et un temps de court circuit 1mn, pour une teneur initiale de 6%, pour un papier imprégné d'huile minérale pendant 48 heures.

Tableau(I.2) : Tableau des maximums des tensions de retour et les temps correspondants

Tension appliquée (kV)	Maximums des tensions de retour (V)	Temps correspondants (s)
5	4.92	16.5
7.5	4.84	12.5

Interprétation des résultats

Les résultats apparaissant sur ces courbes montrent que la tension de retour a diminué avec le niveau de tension appliquée, car l'augmentation de la tension de charge appliquée provoque une diminution de la polarisation des charges résiduelles. Nous voyons bien sur le graphe, la deuxième courbe correspondant à 7.5kV passer sous celle correspondant à 5kV.

II.3.4- Etude de la tension de retour pour le Poly méthacrylate de méthyle (PMMA)

II.3.4.1-Influence du temps de court-circuit et de la tension de charge

Dans cet essai, nous avons utilisé un échantillon de Poly méthacrylate de méthyle (PMMA) communément appelé plexiglass de masse $m = 6.75$ g. On charge le condensateur avec ce matériau comme diélectrique. Le temps de charge est pris égal à 10 mn, les tensions appliquées sont 2kV, 4kV, 8kV et 14kV. Le temps de court-circuit choisi est de 5mn pour le premier essai et de 2 mn pour le second. Les valeurs de la tension de retour sont à chaque fois relevées à l'ouverture du court-circuit. Les valeurs de la tension de retour sont prélevées toute les secondes pendant trois minutes, la durée totale du relevé est de 30 mn. Les caractéristiques de la tension de retour en fonction du temps sont représentées par la figure (II.13 et II.14).

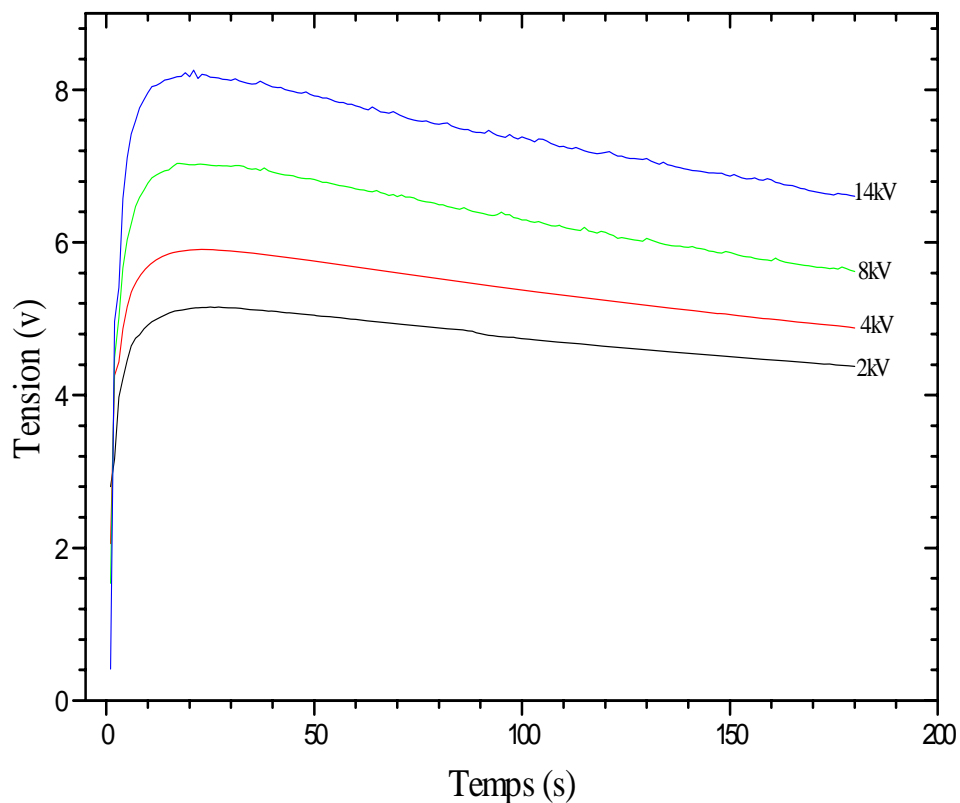


Figure II.13 : Variation temporelle de la tension de retour pour des tensions de charges variables, un temps de charge de 10mn et un temps de court circuit de 5mn.

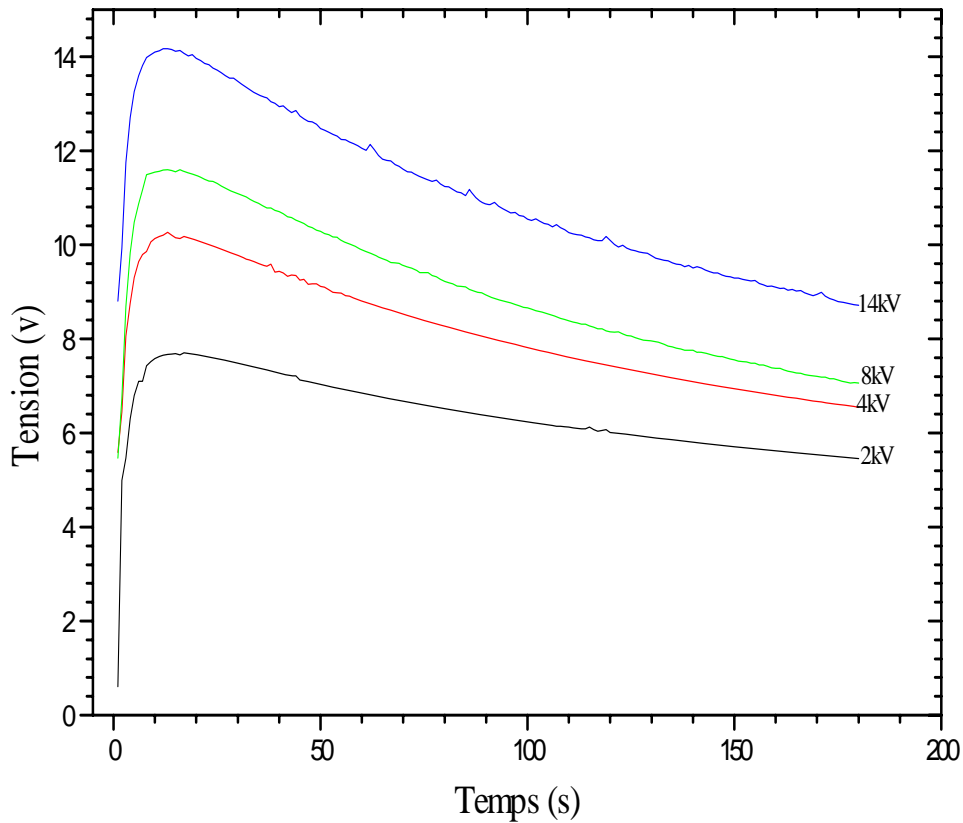


Figure II.14 : Variation temporelle de la tension de retour pour des tensions de charges variables, un temps de charge de 10mn et un temps de court circuit de 2mn.

Interprétation des résultats

Ces courbes montrent que la tension de retour augmente avec le niveau de tension appliquée, car l'augmentation de la tension appliquée provoque une augmentation de la polarisation des charges résiduelles. On constate que la durée du court-circuit influe sur la tension de retour. En effet une faible durée de court-circuit provoque une augmentation de la tension de retour, car la relaxation totale n'est pas atteinte.

I.2.2.4.2- Influence du temps de charge

Dans cet essai, nous avons utilisé le même échantillon utilisé précédemment de Poly méthacrylate de méthyle (PMMA) de masse $m = 6.75$ g. On charge le condensateur plan, dont le diélectrique est un échantillon de PMMA isolant pendant des temps de charges variables de 5, 10, 20 et 30 mn. On le charge sous une tension continue 12kV, le temps de court circuit est de 5mn, puis on relève les valeurs de la tension de retour au moment de l'ouverture du court circuit.

Les caractéristiques de la tension de retour en fonction du temps sont représentées par la figure (II.15).

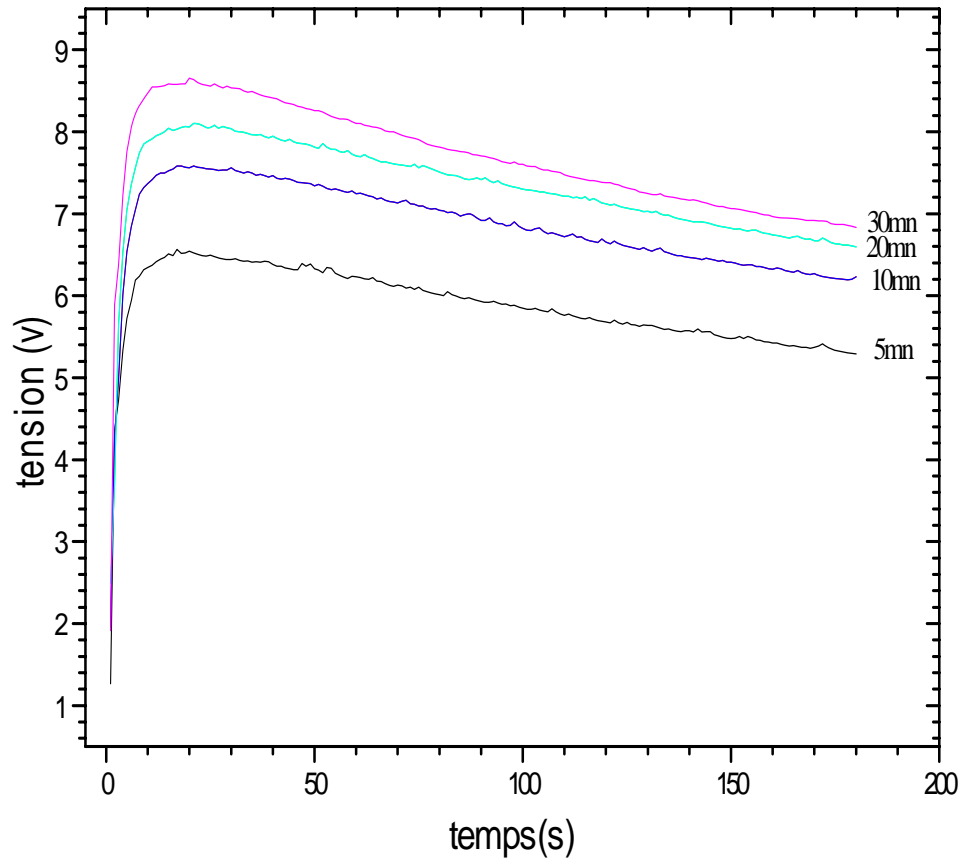


Figure I.3 : Variation temporelle de la tension de retour pour différents temps de charges (5, 10, 20 et 30mn), tension de charge 12 kV et un court circuit de 5mn

Interprétation des résultats

En se référant à ces courbes, nous remarquons que la tension de retour augmente avec le temps, car lorsqu'on charge le condensateur pendant 30 minutes, les molécules se polarisent. Après un certain temps, les valeurs des tensions sont presque constantes parce que les molécules subissent le phénomène de la relaxation, donc la tension de retour demeure quasi constante.

Conclusion générale

L'étude abordée dans le présent mémoire nous a permis d'élargir nos connaissances sur le comportement diélectrique du papier isolant et du poly méthacrylate de méthyle (PMMA).

Dans cette étude nous avons utilisé une méthode d'examen de l'évolution temporelle de la tension de retour en fonction du temps d'exposition à la tension et de court-circuit pour différents échantillons. Ces échantillons sont constitués de papier avec différents taux d'humidité. L'effet de l'imprégnation du papier dans de l'huile minérale a également été étudié. A titre complémentaire un échantillon de méthacrylate de méthyle (PMMA) a été soumis à examen.

A l'issue de nos différentes expériences il est apparu que la tension de retour dépend du temps de charge, du temps de mise en court-circuit ainsi que de la valeur de la tension appliquée. Il a également été mis en évidence que la présence d'humidité dans le papier influe sur la tension de retour. Les divers résultats auxquels nous sommes parvenus peuvent se résumer ainsi :

- ✓ La tension de retour diminue avec l'augmentation du temps de court-circuit.
- ✓ La tension de retour augmente avec la diminution de la teneur en eau du papier.
- ✓ la tension de retour augmente avec l'augmentation du temps de charge.
- ✓ la tension de retour augmente avec la tension de charge appliquée au papier.

A l'issue de notre travail il nous est apparu qu'un prolongement de celui-ci serait très intéressant. Parmi les perspectives qu'il ouvre, la corrélation entre la tension de retour et la nature chimique du diélectrique semble être la plus prometteuse bien que nécessitant des matériels très sophistiqués. L'étude sur site de matériels en fonctionnement pourrait également figurer parmi les suites pouvant être données à ce travail.

Références bibliographiques

- [1] SABRINA ORLOWSKA. « Conception et prédiction des caractéristiques diélectriques des matériaux composites à deux et trois phases par la modélisation et la validation expérimentale ». L'école Doctorale électronique, électrotechnique, automatique de LYON 2002.
- [2] M. AGUET et M.LANOZ, « Haute Tension », deuxième édition, Ecole Polytechnique Fédérale de LAUSANNE. Volume XXII 2002.
- [3] ROBERT FOURNIE, « Les isolants en électrotechnique. Concepts et théorie », Edition EYROLLES, PARIS, 1986.
- [4] A. KEBIR et L.ABBASSEN, « Etude du comportement électrique d'un isolateur à ailette en porcelaine pollué et soumis à une tension continue ». Projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en électrotechnique, option Réseau Electrique. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2006/2007.
- [5] JEAN-CLAUDE DUBOIS, « Propriétés diélectriques des polymères ». Technique de l'ingénieur France, E1850, Mars 1998.
- [6] P. ROBERT, « Matériaux de l'électrotechnique », Edition GEORGI, Volume II, 1979.
- [7] R. MESBAH et M. KEBOUR, « Nouvelles approches d'évaluation des pertes diélectriques dans le papier d'isolation », Projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en électrotechnique, option Réseau Electrique. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2003.
- [8] ROBERT FOURNIE, « Diélectrique, bases théoriques ». Technique de l'ingénieur France, E1956.
- [9] T. WILDI et G. SYBILLE, « ELECTROTECHNIQUE », Quatrième édition, 2005.
- [10] R. COELHO et B. BOUVIER, « Papier et papier imprégné », ». Techniques de l'ingénieur France. Mars 1977.
- [11] F. BITAM-MEGHERBI, « Etude d'une isolation combinée huile/papier isolant. Approche non destructive », Doctorat d'état en électrotechnique, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2007.
- [12] E. KUFFEL, W.S. ZAENGL et J. KUFFEL, « High Voltage Engineering », 2000.
- [13] Z. ZEROULI et S. LARBI « Utilisation des techniques non destructives pour la caractérisation du papier d'isolation des transformateurs », Projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en électrotechnique, option Réseau Electrique. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2007
- [14] BRIGITTE BOUVIER, « Papier et papier imprégné », Technique de l'ingénieur France. Mars 1977.

- [15] N.HADJ-ARAB, « Influence de la teneur en eau sur la conduction électrique du papier isolant » », Projet de fin d'études, Projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en électrotechnique, option Réseau Electrique. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2002.
- [16] N. DAHMANI et A. GARIDI, « Vieillesse climatique du PRC », mémoire D.E.U.A, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2006.
- [17] O. LADJIMI et S. BAHLOUL et R. ALLEG, « Caractéristique diélectrique du PRC vieillie thermiquement utilisé dans les câbles MT », Project de fin d'étude, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2001.
- [18] YVAN. SEGUI, « Diélectrique courant de conduction », Technique de l'ingénieur, D₂ 301, 2000.



Faculté de Génie électrique et d'informatique
Département d'Electrotechnique

Mémoire

de fin d'études présenté en vue de l'obtention
du diplôme

D'INGENIEUR D'ETAT EN ELECTROTECHNIQUE
OPTION: Réseaux Électriques

Thème

Utilisation de techniques non destructives pour la
Caractérisation d'isolants utilisés en électrotechnique

Proposé et dirigé par :

Mr. M. Megherbi

Présenté par :

Mr: Haouchine Hocine

Mr: Mahamat Komaïssou Fakadi

Promotion 2008/2009

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier notre promoteur monsieur **MOHAMED MEGHERBI** qui a bien voulu nous diriger durant notre travail.

Nous tenons aussi à remercier tous les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail.

Nos remerciements vont aussi vers tous les enseignants de notre département qui ont participé à notre formation.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

- Mes parents.
- Mes frères et ma sœur.
- Mes neveux.
- Mes amis.

H. HOCINE

Je dédie ce travail à :

- Mes parents.
- Mes frères et sœurs.
- Mes cousins et cousines
- Mes amis.

MAHAMAT K. FAKADI

Sommaire

Introduction générale	1
Partie théorique	
I.1- Diélectrique	4
I.1.1- Définition	4
I.1.2-Différents types de milieu matériel	5
I.1.2.1-Milieu matériel gazeux	5
I.1.2.2- Milieu matériel liquide	5
I.1.2.3- Milieu matériel solide	5
I.1.3-Polarisation des diélectriques	5
I.1.3.1-Moment dipolaire	6
I.1.3.2-Vecteur polarisation	6
I.1.3.3-Représentation de l'état de polarisation d'un échantillon	7
I.1.3.4-Charges réelles.	8
I.1.3.5- Champ électrique et champ de déplacement à l'intérieur d'un diélectrique	8
I.1.3.6-Polarisation à l'échelle microscopique	9
I.1.3.6.1- Champ locale E_L	9
I.1.3.6.2-Facteur de polarisation α	10
I.1.3.6.3-Index de polarisation	10
I.1.3.7-Les différents types de polarisation	10
I.1.3.7.1-Polarisation électronique	10
I.1.3.7.2-Polarisation ionique (ou atomique)	11
I.1.3.7.3-Polarisation interfaciale, effet Maxwell-Wagner-Sillars.	12
I.1.3.7.4-Polarisation d'orientation ou de Debye.	13

a-Polarisation par orientation en champ sinusoïdal	15
I.1.3.7.5-Polarisation macroscopique	17
I.1.3.7.6-Polarisation spontanée	17
I.1.3.7.7-Résumé des différentes polarisations	17
I.1.4-Différents types de diélectriques	19
I.1.4.1-Diélectrique apolaire	19
I.1.4.2-Diélectrique polaire	19
a-Diélectrique isotrope	19
b-Diélectrique anisotrope	20
I.1.5-Les différents courants dans un diélectrique	20
a- Le courant de conduction	20
b- Le courant de déplacement	21
c- L courant d'absorption et de résorption	21
I.1.6- Susceptibilité diélectrique	22
I.1.7- Phénomène de relaxation dans un diélectrique	23
I.1.8- Diélectrique sans pertes	24
I.1.9- Diélectrique avec pertes	24
I.1.10- Facteur de pertes diélectriques	25
I.2- La permittivité des diélectriques	26
I.2.1-Introduction	26
I.2.2-Permittivité relative en régime permanent	27
I.2.3-Permittivité relative en régime sinusoïdal	28
I.2.3.1- Permittivité complexe et pertes diélectriques, définition	28
I.2.3.2- Permittivité et pertes en fonction de la fréquence	29

I.2.3.3- Etude des phénomènes de polarisation en fonction de la fréquence	31
I.2.3.4- Diagramme de Cole-Cole	31
I.2.3.5- Permittivité et perte en fonction de la température	32
I.3- Papier d'isolement utilisé dans les transformateurs	33
I.3.1- Introduction	33
I.3.2- Le papier	33
I.3.2.1- La composition du papier	33
a- La cellulose	34
b-L'hémicellulose	34
c-La lignine	34
I.3.2.2- Mesure du degré de polymérisation	34
I.3.2.3- Les propriétés du papier non imprégné	35
I.3.2.3.1- Epaisseur	36
I.3.2.3.2- La masse volumique	36
I.3.2.3.3- Hygroscopicité du papier non imprégné	36
I.3.2.3.4- Propriétés mécaniques du papier non imprégné	36
a- Résistance à la traction	36
b- Résistance au déchirement	36
c- Résistance au pliage	37
d- Résistance à l'éclatement	37
I.3.2.3.5- Propriétés diélectriques du papier non imprégné	37
I.3.2.3.6- Propriétés thermiques du papier non imprégné	37
a- La conductivité thermique	38
b- Stabilité thermique	38
c- Rigidité diélectrique	38
I.3.2.4- Dégradation du papier non Imprégné	38
I.3.3- Imprégnant	38
I.3.3.1- Les propriétés physique et chimique de l'huile minérale isolante	39
I.3.3.2- Le rôle de l'huile isolante	39

I.3.4 Dégradation de l'huile	39
I.3.5- Papier imprégné	40
I.3.5.1- Hygroscopicité du papier imprégné	40
I.3.5.2- Propriétés diélectriques du papier imprégné	40
a-Permittivité relative et facteur de dissipation diélectrique	40
I.3.6- Vieillessement thermique et électrique du papier imprégné	41
I.3.7- Mécanismes de claquage	41
I.4. Le Poly méthacrylate de méthyle (PMMA)	42
a- Polymérisation en masse	42
b- Polymérisation en solution	42
c- La polymérisation en émulsion	42
I.4.1- Procédés de fabrications concurrentes	42
I.4.2- Caractéristiques du (PMMA)	43
a- Caractéristiques physiques	43
b- Caractéristiques mécaniques	43
c- Caractéristiques thermiques	44
d- Caractéristiques chimiques	44
I.4.3- Caractéristiques optiques	45
I.4.4- Caractéristiques électriques	45
I.4.5- Avantages et inconvénients	45
a. Avantages	45
b. Inconvénients	45

Partie expérimentale

II.1-Introduction	46
II.2-Notion de base sur la tension de retour	46
II.2.1-Introduction	46
II.2.2- Définition de la tension de retour ou tension résiduelle	46
II.2.3- Le principe de mesure de la tension de retour et interprétation	47
II.3-Etude expérimentale de la tension de retour	49
II.3.1-Description du dispositif expérimental	49
II.3.2- Application de méthode RVM à du papier non imprégné	49
II.3.2.1-Détermination de la teneur en eau du papier non imprégné	49
II.3.2.2.- Influence du temps de court-circuit	51
a) Premier essai	51
b) Deuxième essai	52
c) Troisième essai	53
d) Quatrième essai	54
e) Cinquième essai	55
f) sixième essai	56
II.3.3- Application de méthode RVM à du papier imprégné	57
II.3.3.1- Influence de la tension de charge sur du papier imprégné	57
a) Première essai	57
b) Deuxième essai	59
c) Troisième essai	60
II.3.4- Etude de la tension de retour pour le Poly méthacrylate de méthyle (PMMA)	62
II.3.4.1-Influence du temps de court-circuit et de la tension de charge	62
I.2.2.4.2- Influence du temps de charge	63
Conclusion générale	65
Bibliographie	66

Introduction générale

L'étude des matériaux diélectriques a commencé avec le début du siècle passé et les efforts en vue de concevoir des produits nouveaux n'ont jamais connu de cesse. C'est surtout dans les trente dernières années du vingtième siècle, suite à la crise pétrolière, qu'un intérêt très fort fut accordé aux matériaux. L'industrie des plastiques avait traversé à l'époque une crise profonde laquelle avait provoqué un réel manque de matières premières sur le marché initiant ainsi une escalade dans les prix des polymères. Cette situation critique a amené les industriels à se tourner vers de nouveaux matériaux moins gourmands en produits pétroliers. Les matériaux composites ont également fait l'objet de recherches poussées mais cela dans des domaines dépassant largement celui des diélectriques.

Dans le domaine du génie électrique l'application de l'isolation composite à base de polymères chargés avec des minéraux et renforcés avec des fibres avait connu une augmentation tout à fait spectaculaire dans les applications de la haute tension. Aussi, les propriétés électriques des composites métal-isolant, comportant des particules métalliques ou des fibres conductrices (exemple : le noir de carbone), ont été le sujet de nombreuses études aussi bien de la part des physiciens travaillant dans le domaine de la physique du solide, pour des raisons théoriques, que de la part des ingénieurs des polymères, pour les applications industrielles. Ces composites, ayant une conductivité électrique plus importante que la plupart des polymères, sont largement répandus dans les applications du type écrans électromagnétiques pour les dispositifs électriques ou de l'élimination de la charge électrostatique dans les composants électroniques en vue de leur protection. Grâce à la capacité d'absorption des ondes radio, ces matériaux sont aussi utilisés pour les couvertures radar. Un grand intérêt est apporté aux polymères chargés à la céramique piézoélectrique (par exemple le titanate de baryum [1]); de tels composites sont utilisés pour la confection des capteurs. Outre les polymères chargés, une grande attention est consacrée aux céramiques poreuses en particulier à leur frittage micro ondes. Des efforts sont également déployés pour assurer un meilleur contrôle de l'effet de la porosité sur la constante diélectrique. A titre d'exemple, on peut citer l'oxyde de zinc (ZnO), largement répandu dans la fabrication des varistances, produits ayant une importance commerciale considérable.

Il est à noter que l'usage des diélectriques dans l'exploitation des matériels haute tension, pose de sérieux problèmes pouvant menacer la fiabilité, voire la sûreté de fonctionnement des systèmes électro-énergétiques. Un problème aussi sérieux que compliqué provient souvent de la présence d'eau dans l'isolation, cela peut se manifester par la présence d'humidité dans l'huile de transformateurs, sur les surfaces des isolateurs ou dans les corps des isolants solides tels le papier ou autres matériaux composites. L'impératif d'éviter toute réduction rapide des performances des matériels haute tension impose de pouvoir, autant que faire se peut, effectuer des diagnostics et d'en interpréter les résultats suffisamment à l'avance pour éviter toute avarie imprévue.

Les succès remportés par les nouveaux matériaux diélectriques sont toujours dus aux améliorations qu'ils introduisent au niveau de la fiabilité et de la durée de vie mais surtout de la compétitivité sur le plan économique. Parmi ces nouveaux produits beaucoup sont constitués de longues chaînes constituant les macromolécules. Cependant, les propriétés électriques de ces matériaux dépendent de la structure chimique des macromolécules qui les constituent mais aussi de différents facteurs, en particulier des adjuvants introduits volontairement pour la rigidité mécanique. La nature de la charge minérale ou organique joue un rôle déterminant sur les propriétés électriques des matériaux. C'est ainsi que pour répondre aux exigences propres à un champ d'application, de nombreux matériaux diélectriques sont classés en fonction de leurs rigidités diélectriques, leurs facteurs de dissipation diélectrique et leurs permittivités. Les matériaux diélectriques permettant d'augmenter la capacité des condensateurs, la connaissance de leur permittivité, caractéristique macroscopique revêt une importance primordiale. Parmi tous les matériaux isolants utilisés en électrotechnique le papier occupe une place particulière. En effet c'est le matériau qui a été le premier à être utilisé dans ce domaine et les recherches n'ont jamais cessé quant à son amélioration. Cette amélioration a porté sur les qualités du papier lui-même, ce qui a conduit à augmenter sa pureté et à rechercher les propriétés physiques susceptibles de lui conférer des caractéristiques diélectriques satisfaisantes.

La mesure de la tension de retour ou (recovery voltage en anglais) est l'une des méthodes actuelles utilisées pour caractériser l'isolation des systèmes. C'est cette méthode de diagnostic non destructif que nous allons décrire dans ce qui suit. Nous

l'avons appliquée à des échantillons de papier pour essayer de comprendre comment ce matériau répond-il à une application d'un échelon de tension. C'est de cette façon que l'on pourra mettre en évidence les phénomènes de la relaxation diélectrique suite à une polarisation.

Dans le travail présenté dans le cadre de ce mémoire nous nous sommes appliqués à mener des expériences sur du papier utilisé dans l'isolation des transformateurs de puissance. La méthode utilisée est celle des tensions de retour. Le travail effectué a essayé d'examiner au mieux les effets du temps de charge et du temps de mise en court-circuit. Considérant le contenu de ce travail nous avons opté pour sa présentation en deux parties.

Dans la première partie, nous donnons les notions de base des diélectriques ainsi qu'une description des propriétés du papier isolant mais également du polyméthacrylate de méthyle (PMMA). Ce dernier matériau n'a pas été étudié avec autant d'attention que le papier mais seulement à titre complémentaire pour mettre en évidence le phénomène général du recovery voltage. Dans la deuxième partie nous nous sommes intéressés à l'étude de la tension de retour d'un condensateur plan, constitué de divers diélectriques à savoir le papier non imprégné, le papier imprégné et le polyméthacrylate de méthyle (PMMA). Nous terminons enfin notre travail par une conclusion générale où nous mettons l'accent sur les perspectives que pourrait ouvrir ce travail.

Partie théorique

Partie expérimentale

II.1- Introduction

Nous nous intéressons dans cette partie du travail à la caractérisation du papier isolant par des techniques de diagnostic non destructives. Nous nous appliquerons donc à réaliser les essais nous permettant d'étudier l'évolution temporelle de la tension de retour.

Avant de parler des essais proprement dits, il nous semble judicieux de donner un aperçu sur les phénomènes régissant la tension de retour.

II.2- Notion de base sur la tension de retour

II.2.1- Introduction

La mesure de la tension de retour ou (Recovery Voltage Measurement en anglais), est érigée comme méthode de caractérisation non destructive de l'isolation des systèmes. Elle a été mise au point dans les années soixante dix à l'Université Technique de Budapest pour évaluer les caractéristiques d'une isolation, cette technique fut ensuite vite abandonnée. Ce n'est que dans les années quatre vingt dix qu'un regain d'intérêt pour cette méthode se fit sentir, cela dans le but d'évaluer la qualité de séchage de l'isolation des transformateurs durant le processus de leur fabrication ou lors d'éventuelles réparations. Cette méthode est la première à être utilisée pour étudier la partie lente de relaxation de la polarisation [11]. La méthode **RVM** (Recovery Voltage Measurement) permet également de mesurer les impacts éventuels du transport ou du stockage des transformateurs avant et après apport d'huile dans la cuve. Elle fournit des données sur l'état général de l'isolation tout en offrant des possibilités d'appréciation du vieillissement diélectrique d'une isolation au papier imprégné. Les mesures de tension de retour que nous avons réalisées expérimentalement, révèlent un lien direct avec la teneur en eau de l'isolation huile/papier, cela semble être dû au caractère polaire affirmé de la molécule d'eau. Le type de polarisation prévalant dans un tel cas demeure la polarisation dipolaire caractérisée par de grandes constantes de temps

II.2.2- Définition de la tension de retour

Lorsque l'on court-circuite les armatures d'un condensateur préalablement chargé, la tension à ses bornes s'annule et l'on dit que le condensateur est déchargé. Si cela est vrai dans la majorité des cas, il n'en demeure pas moins que dans d'autres que la tension puisse remonter à l'ouverture du court circuit. Ce phénomène connu des praticiens de la haute tension surtout pour sa dangerosité est intimement lié aux processus de polarisation, particulièrement ceux relatifs à la polarisation interfaciale dans les matériaux non homogènes. C'est cette remontée de potentiel après l'ouverture d'un court circuit que nous appelons la "tension de retour".

II.2.3- Le principe de mesure de la tension de retour et interprétation

La méthode RVM est basée sur la détermination de la tension de retour suite à l'application d'une tension continue, en chargeant l'isolation. Cette méthode constitue un moyen d'obtenir des informations sur l'état du papier. Dans le cas des transformateurs, cette méthode peut être utilisée lors des essais de réception destinés à vérifier si leurs caractéristiques n'ont pas été affectées par les procédures de manutention du matériel. La mesure de la tension de retour peut aussi jouer le rôle d'indicateur d'une prise d'humidité d'une isolation contenant du papier.

Sur la figure (II.1) est montré le circuit utilisé pour la mesure de la tension de retour.

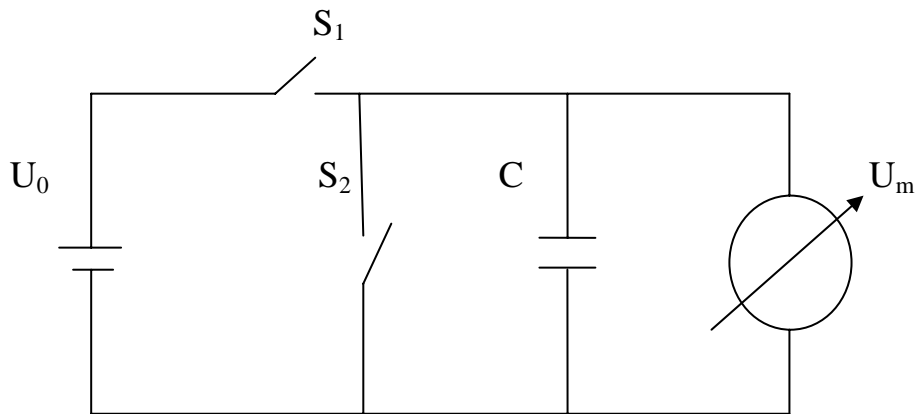


Figure (II.1) : Le circuit de mesure de la tension de retour.

La méthode de mesure de la tension de retour s'effectue selon les quatre étapes suivantes :

- ✓ L'interrupteur S_1 est fermé durant un temps t_c appelé temps de charge. L'objet d'essai de capacité C se charge pratiquement sous la tension U_0 . Durant la charge, les molécules se polarisent et tendent à s'aligner dans la direction du champ appliqué.
- ✓ S_1 est ensuite ouvert alors que S_2 est fermé pendant un temps dit de décharge noté t_d . Ce temps de décharge t_d est généralement pris égal à la moitié du temps de charge t_c . Durant ce laps de temps la charge portée par les armatures s'annule et le processus de relaxation, assez lent, s'enclenche. Le matériau se dépolarise partiellement.

- ✓ Après le temps t_d , le court-circuit est ouvert, une tension évoluant dans le temps apparaît alors. C'est cette tension que nous enregistrons à l'aide d'un multimètre numérique programmable.
- ✓ A la fin de l'enregistrement, on procède à une remise en court-circuit jusqu'à ce que l'isolant soit pratiquement déchargé. Une fois l'échantillon complètement déchargé, on peut reprendre le cycle en faisant varier les temps t_c et t_d .

Sur la figure (II.2) nous donnons de façon synoptique les différentes phases d'un cycle de mesure de la tension de retour :

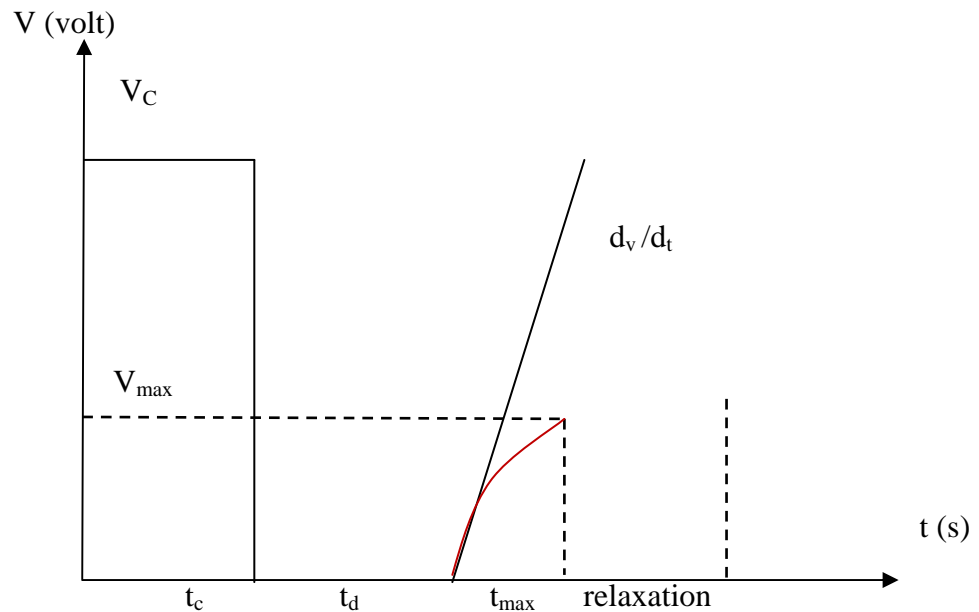


Figure (II.2) : Le cycle de mesure de la tension de retour [12].

Le temps t_{max} , correspondant à la tension maximale, représente le temps entre le premier prélèvement et le maximum de la tension de retour. C'est le paramètre utilisé pour évaluer les conditions de l'isolation à partir de la mesure de la tension de retour. Le déplacement du maximum de la courbe vers une petite constante de temps est attribué selon certains à une dégradation du système d'isolation [13]. Il est également accepté que si un système d'isolation présente une faible teneur en humidité il aura une polarisation lente [14]. Ceci signifie que l'isolation présentera une valeur élevée de la tension de retour.

II.3- Etude expérimentale de la tension de retour

Dans cette partie on s'intéresse à l'évolution temporelle de la tension de retour en fonction du temps de court-circuit de six échantillons de papier non imprégné.

II.3.1-Description du dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé dans notre travail est constitué d'une source de haute tension continue, un dispositif nous permettant d'établir et d'enlever le court-circuit aux bornes de l'échantillon et un condensateur plan dont les électrodes sont en acier inoxydable. Les électrodes sont séparées par du papier non imprégné de forme circulaire. Un multimètre électronique nous permet de mesurer la tension de retour. Une représentation schématique du dispositif expérimental est donnée par la figure suivante (figure II.3) :

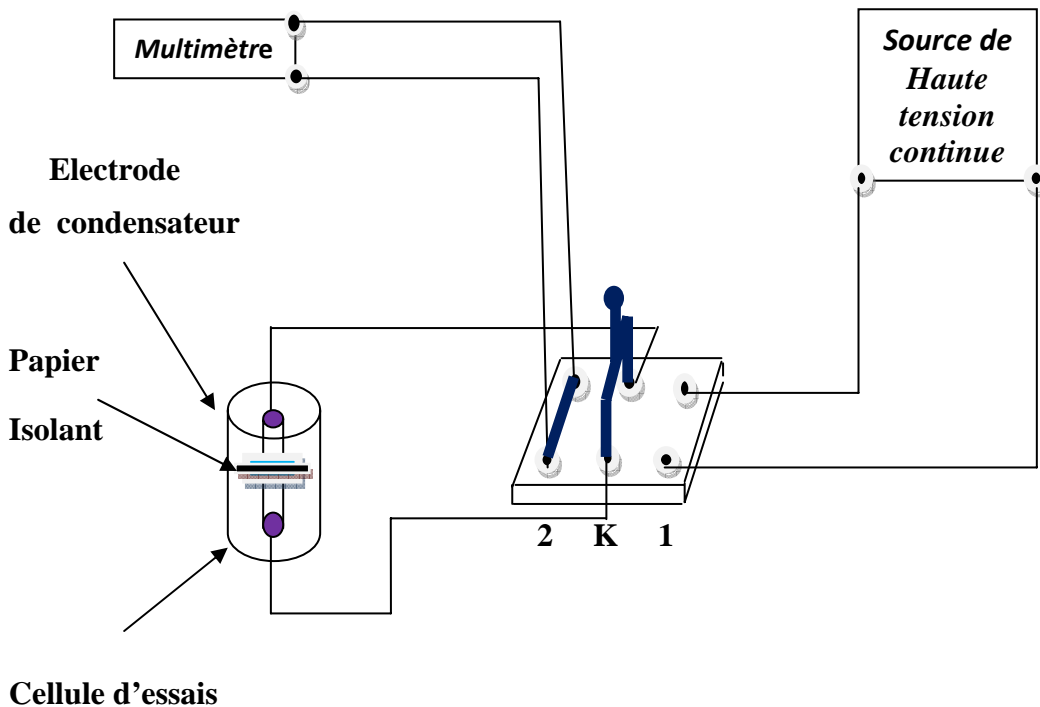


Figure (II-3) : Représentation schématique du dispositif expérimental.

II.3.2- Application de méthode RVM à du papier non imprégné

II.3.2.1- Détermination de la teneur en eau du papier non imprégné

La mesure de la teneur en eau s'effectue par une méthode pondérale. La teneur en eau d'un échantillon est déterminée à partir de la perte de masse suite à un chauffage à l'air ambiant à des températures comprises entre 90 et 105°C et cela afin d'éviter la dégradation du papier par

pyrolyse. La température est mesurée à l'aide d'un thermomètre thermique et peut être corrigée à chaque instant par action sur un autotransformateur alimentant les résistances de chauffage.

Soit M_1 la masse initiale de l'échantillon du papier non imprégné, M_2 la masse à l'essai après avoir été sorti du four à une température de 90°C pendant 45 mn pour évacuer l'humidité.

Alors la valeur du taux d'humidité est obtenue par la formule suivante :

$$H\% = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100$$

La mesure de la tension de retour s'effectue en quatre étapes :

➤ Première étape

On ferme le dispositif K (on le met sur la position 1) pendant un temps dit de charge t_c , le condensateur se charge à travers une source de haute tension continue.

➤ Deuxième étape

On ouvre le dispositif K (on le met sur la position 2) pendant un temps t_d dit de décharge. Le condensateur se retrouve en court circuit.

➤ Troisième étape

C'est la mesure de la tension de retour. Après le temps de décharge, on ouvre le court-circuit puis on relève les valeurs des tensions de retour à l'aide d'un multimètre de grande impédance d'entrée, pendant 180 secondes. Pour chaque seconde correspond une valeur de la tension de retour.

➤ Quatrième étape:

A la fin de l'enregistrement, on procède à une remise en court-circuit jusqu'à ce que l'isolant soit pratiquement déchargé. Une fois l'échantillon complètement déchargé, on peut reprendre le cycle en faisant varier les temps t_c et t_d .

Après ces quatre étapes, nous traçons la courbe de la tension de retour en fonction du temps.

II.3.2.2.- Influence du temps de court-circuit

Dans cet essai, nous avons utilisé six échantillons de papier non imprégné avec des différentes teneurs en eau. On charge le condensateur plan pendant un temps égal à deux fois le temps de décharge sous une tension continue de 5 kV, puis on relève pour chaque essai les valeurs de la tension de retour au moment de l'ouverture du court circuit. Le temps de court-circuit total de chaque expérience pour les différents échantillons de papier est de 32 minutes.

a) Premier essai

Dans cet essai, nous avons utilisé un premier échantillon de papier non imprégné dont la teneur en eau est de 1.33% avec une épaisseur de 0.5mm. Le condensateur est chargé pendant 20 mn sous une tension continue de 5 kV, ensuite on le court-circuite pendant un temps variable (10, 8, 6, 4, 2,1 mn). On procède ensuite à l'enregistrement des valeurs de la tension de retour juste après l'ouverture du court-circuit (Figure II.4).

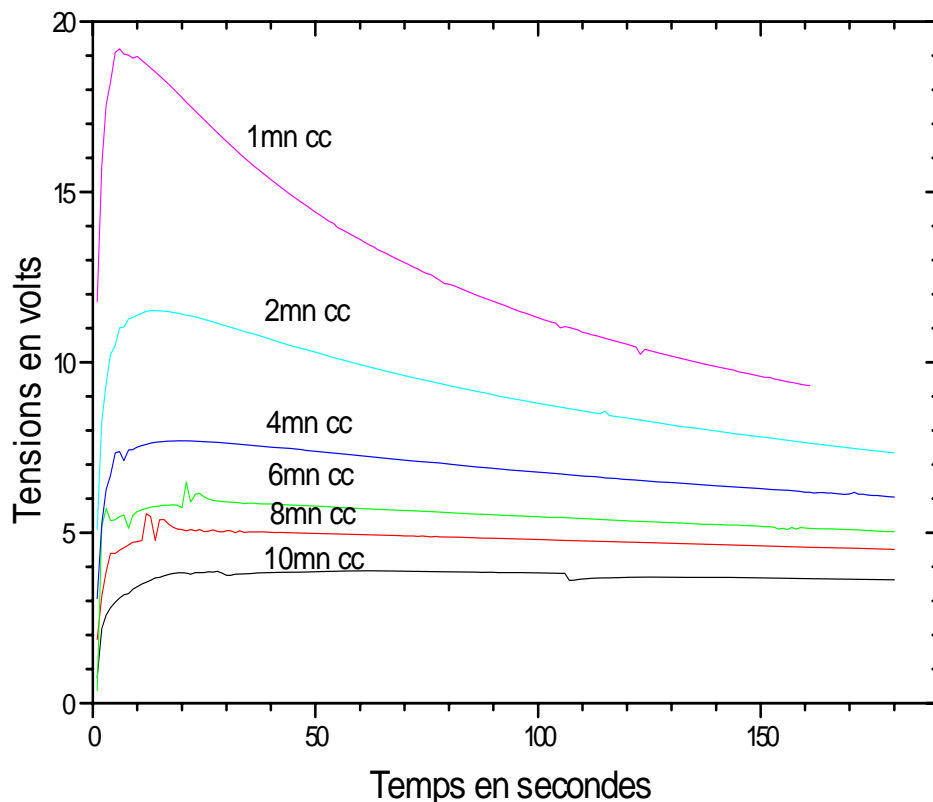


Figure (II.4) : Variation temporelle de la tension de retour pour différents temps de court-circuit pour une tension de charge de 5kV.

Interprétation des résultats

On constate que la durée du court-circuit influe sur la tension de retour. En effet une faible durée de court circuit provoque une augmentation de la tension de retour, car les dipôles n'ont pas le temps nécessaire pour se réorienter de façon aléatoire. Après un certain temps, les valeurs des tensions sont presque constantes, parce que le phénomène de relaxation devient plus lent à cause probablement des charges piégées aux interfaces cellulose-air ou cellulose-eau, cela se traduit par une tension de retour demeurant presque constante.

b) Deuxième essai

Dans ce deuxième essai, nous avons utilisé un échantillon de papier non imprégné dont la teneur en eau est de 1.15%, avec une épaisseur de 0.5 mm. On le charge pendant 10 mn sous une tension continue de 5 kV, ensuite on le court-circuite pendant un temps variable (5, 4, 3, 2, 1 mn) puis on relève les valeurs de la tension de retour au moment de l'ouverture du court circuit (Figure II.5).

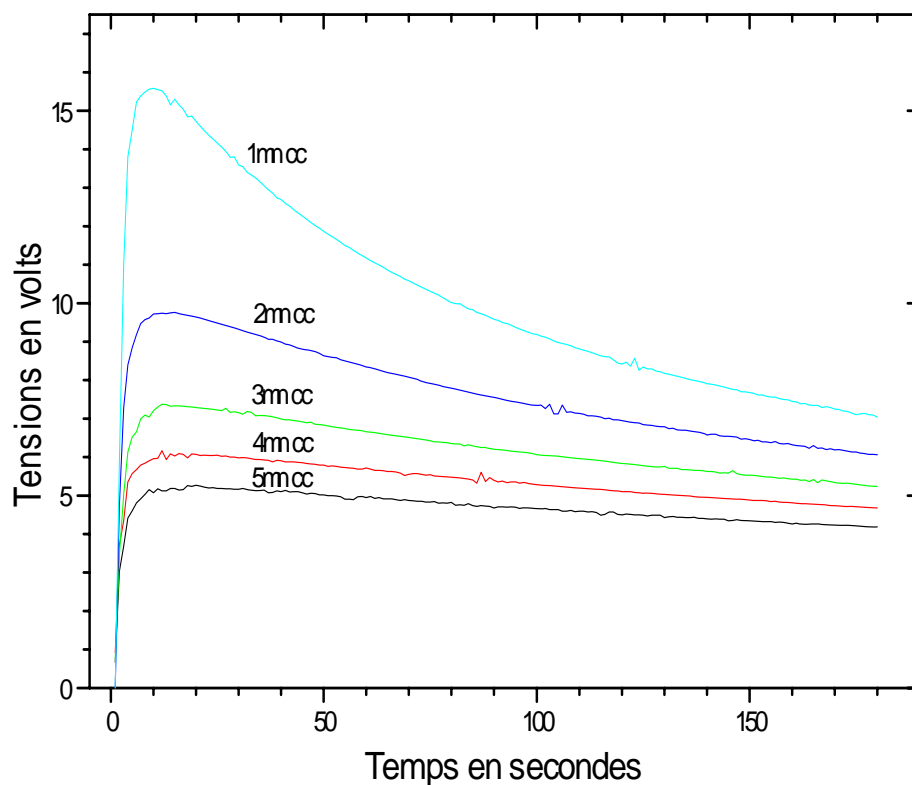


Figure (II.5) : Variation temporelle de la tension de retour pour différents temps de court-circuit pour une tension de charge de 5kV.

Interprétation des résultats

On constate que la durée du court-circuit influe sur la tension de retour. En effet une faible durée de court-circuit provoque une augmentation de la tension de retour, les molécules n'ayant pas le temps nécessaire pour retourner à leur état initial. Nous constatons aussi, que la tension de retour tend à diminuer pour des temps de charge plus petits.

b) Troisième essai

Dans cet essai, nous avons utilisé un échantillon de papier non imprégné dont la teneur en eau initiale est de 1.24%, d'épaisseur 0.5mm. On le charge pendant 10mn sous une tension continue de 5 kV, ensuite on le court circuit pendant un temps variable (5, 4, 3, 2,1mn) puis on relève les valeurs de la tension de retour au moment de l'ouverture du court circuit (Figure II.6).

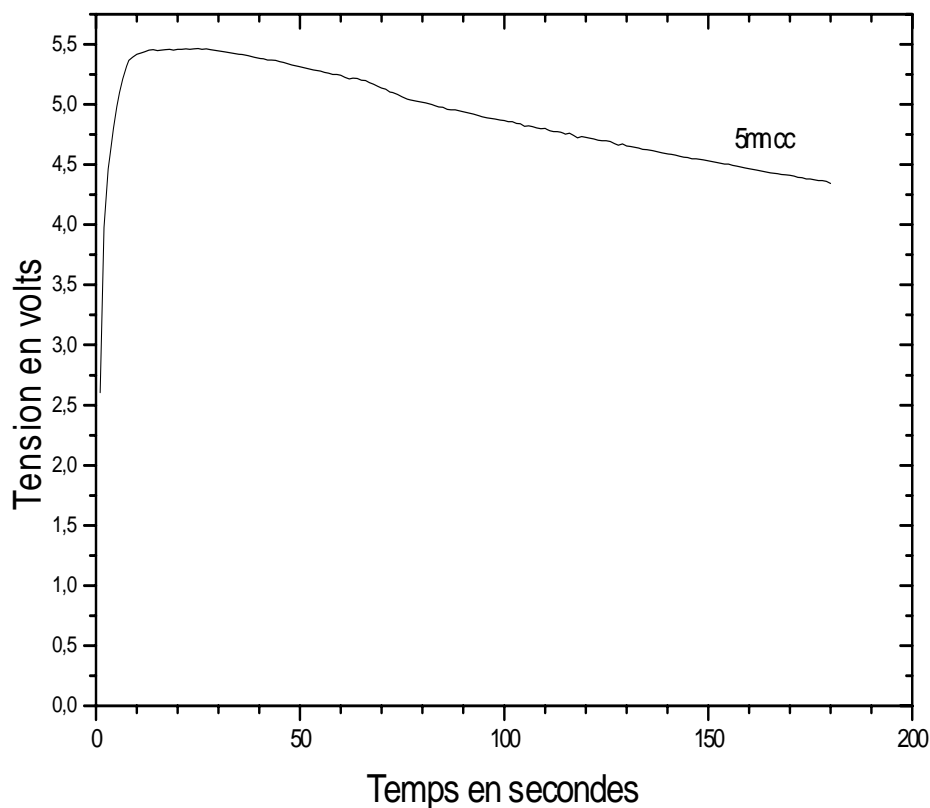


Figure II.6. Variation temporelle de la tension de retour pour différents temps de court circuit une tension de charge de 5kV

Interprétation des résultats

L'échantillon de papier n'a pas pu supporter la tension qu'on lui a appliquée, ce qui a entraîné un claquage de celui-ci au deuxième essai (4mn de court-circuit).

c) Quatrième essai

Dans ce quatrième essai, nous avons utilisé un échantillon de papier non imprégné dont la teneur en eau initiale est de 6%, d'épaisseur 0.5mm. On le charge pendant 10 mn sous une tension continue de 5kV, ensuite on le court-circuite pendant un temps variable (5, 3, 1 mn) puis on relève les valeurs de la tension de retour au moment de l'ouverture du court circuit (Figure II.7).

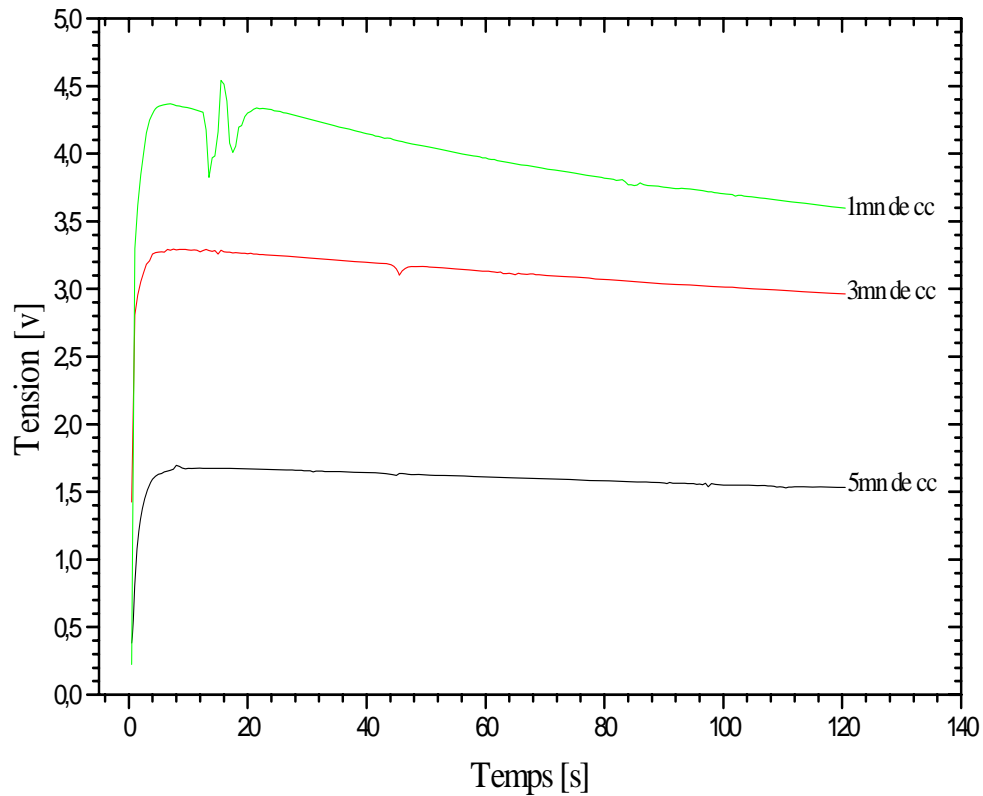


Figure II.7 : variation temporelle de la tension de retour pour une tension de charge de 5kV et 10mn de temps de charge et un temps de court circuit variable, pour une teneur en eau initiale de 6%.

Interprétation des résultats

On constate que la durée du court circuit influe sur la tension de retour. En effet une faible durée de court-circuit provoque une augmentation de la tension de retour, comme dit auparavant, les charges de polarisation n'ont pas eu le temps de se neutraliser

d) Cinquième essai

Pour cet essai, la teneur en eau initiale du papier est de 1%, et d'épaisseur 0.5mm. Il est chargé pendant 10 mn sous une tension continue de 5kV. Il est court-circuité ensuite pendant des temps variables 5, 3 et 1mn, puis les valeurs de la tension de retour au moment de l'ouverture du court-circuit nous donnent le graphe suivant (Figure II.8) :

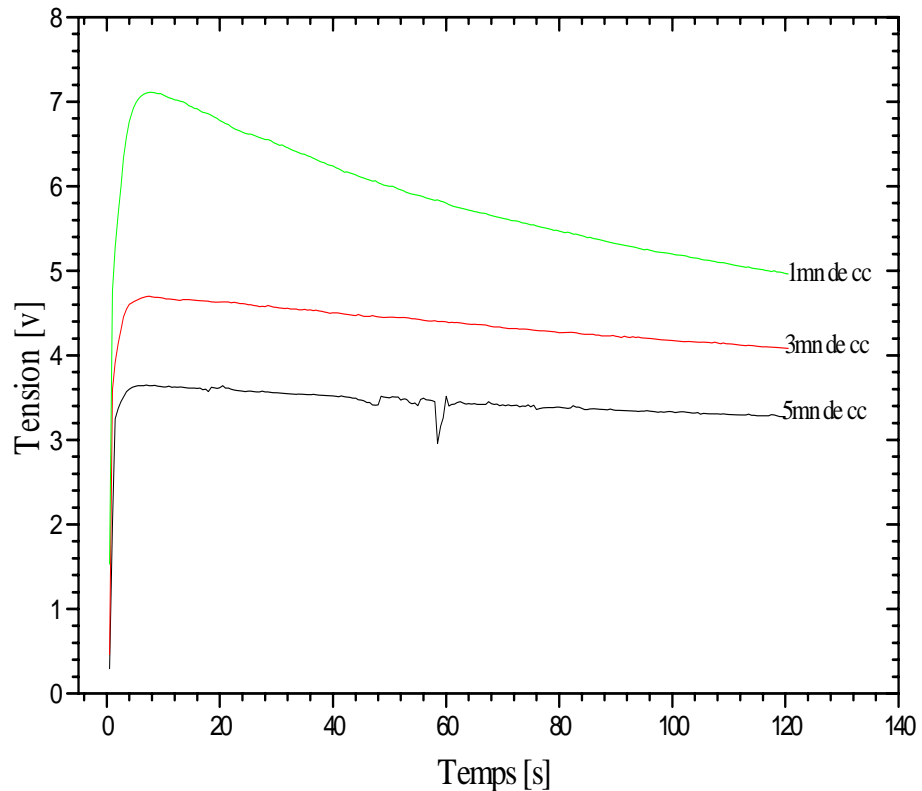


Figure II.8 : variation temporelle de la tension de retour pour une tension de charge de 5kV et 10mn de temps de charge et un temps de court circuit variable, pour une teneur en eau initiale de 1%.

Interprétation des résultats

La figure II.8 montre que de manière semblable aux cas précédents, nous remarquons l'effet de la durée du temps de court-circuit sur la tension de retour, ce qui répond aux explications déjà avancées pour cela.

e) **sixième essai**

Dans cet essai, nous avons utilisé le même échantillon de papier non imprégné traité durant le cinquième essai avec une teneur en eau initiale est de 1%. On le charge pendant 10 mn sous une tension continue variable de (5 kV, 7.5 kV) ensuite on le court-circuite pendant 1 mn puis on relève les valeurs de la tension de retour au moment de l'ouverture du court-circuit (Figure II.9).

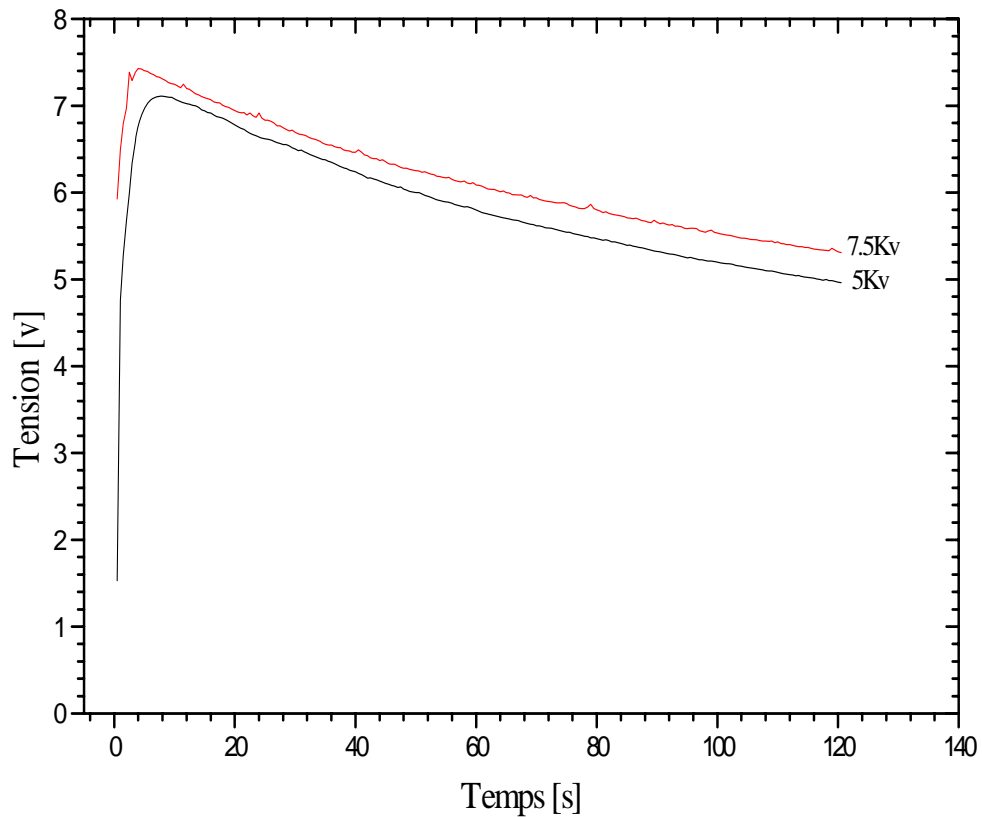


Figure II.9 : variation temporelle de la tension de retour pour une tension de charge variable (5kV et 7.5kV), de temps de charge de 10 mn et un temps de court-circuit de 1mn, pour une teneur en eau initiale de 1%.

Interprétation des résultats

En se référant à ces courbes, nous constatons que la tension résiduelle augmente avec le niveau de tension appliquée, car l'augmentation de la tension de charge appliquée provoque une augmentation de la polarisation des charges résiduelles.

Un claquage est survenu lors d'un essai avec une tension de 10kV.

II.3.3- Application de méthode RVM à du papier imprégné

II.3.3.1- Influence de la tension de charge sur du papier imprégné

Dans cet essai, nous avons utilisé trois échantillons de papier imprégné d'huile minérale, avec différentes teneurs en eau. Les échantillons ont une teneur en eau avant immersion de 7.65% puis on les chauffe à une température de 120°C pour avoir différentes teneur en eau à l'essai. Les trois échantillons sont imprégnés dans une huile minérale pendant 24 heures pour le premier échantillon et 48 heures pour les deux autres échantillons. On charge le condensateur plan, dont le diélectrique est les trois échantillons de papier imprégné, pendant un temps de charge égal à deux fois le temps de décharge sous une tension continue variable puis on relève les valeurs de la tension de retour au moment de l'ouverture du court-circuit. Les valeurs de la tension de retour sont prélevées avec un pas de 0.5 seconde pendant deux minutes. Le temps global de court-circuit pour chaque essai est de 30 mn.

a) Première essai

Pour ce premier essai, nous avons utilisé un échantillon de papier imprégné dans huile minérale dont la teneur en eau initiale est de 0.5% et d'épaisseur 0.5 mm. L'échantillon est imprégné dans une huile minérale pendant 24heures. Le condensateur est chargé pendant 10 mn sous des tensions continues variables de 5 kV, 7.5 kV, 10 kV, 12 kV et 15 kV. Ensuite, il est mis en court-circuit pendant 1 mn. Le relevé de la tension de retour est effectué au moment de l'ouverture du court-circuit. Les caractéristiques de la tension de retour en fonction du temps sont représentées par la figure (II.10).

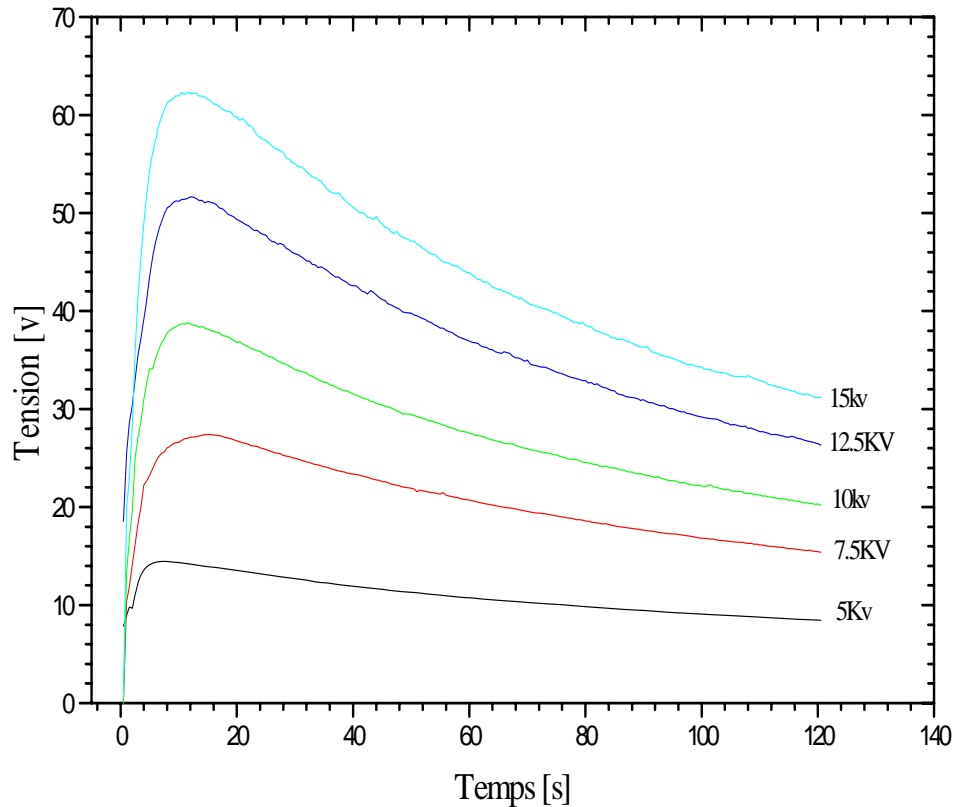


Figure II.10 : Variation temporelle de la tension de retour pour une tension de charge variable, un temps de charge de 10mn et un temps de court circuit 1mn, pour une teneur en eau initiale de 0.5%, pour un papier imprégné d'huile minérale pendant 24 heures.

Tableau(I.1) : Tableau des maximums des tensions de retour et les temps correspondants

Tension appliquée (kV)	Maximums des tensions de retour (V)	Temps correspondants (s)
5	14,46	7
7.5	27,40	15
10	38,78	11.5
12.5	51.66	12
15	62.28	10.5

Interprétation des résultats

En se référant à ces courbes, la tension résiduelle augmente avec le niveau de tension appliquée, car l'augmentation de la tension de charge appliquée provoque une forte augmentation de la polarisation des charges résiduelles. Après un certain temps, les valeurs des tensions sont presque constantes, parce que les molécules subissent le phénomène de la relaxation, donc la tension de retour demeure quasi constante. Un claquage est survenu lors de l'application d'une tension de 17.5kV.

b) Deuxième essai

Dans cet essai, nous avons utilisé un échantillon de papier imprégné d'huile minérale dont la teneur en eau initiale est de 2.5%, et d'épaisseur 0.5 mm. L'échantillon est imprégné dans une huile minérale pendant 48 heures. On le charge pendant 10 mn sous des tensions continues variables de 5kV, 7.5kV, 10kV, 12,5kV et 15kV. On le court-circuite ensuite pendant 1 mn, puis on relève les valeurs de la tension de retour au moment de l'ouverture du court-circuit. Les caractéristiques de la tension de retour en fonction du temps sont représentées par la figure (II.11).

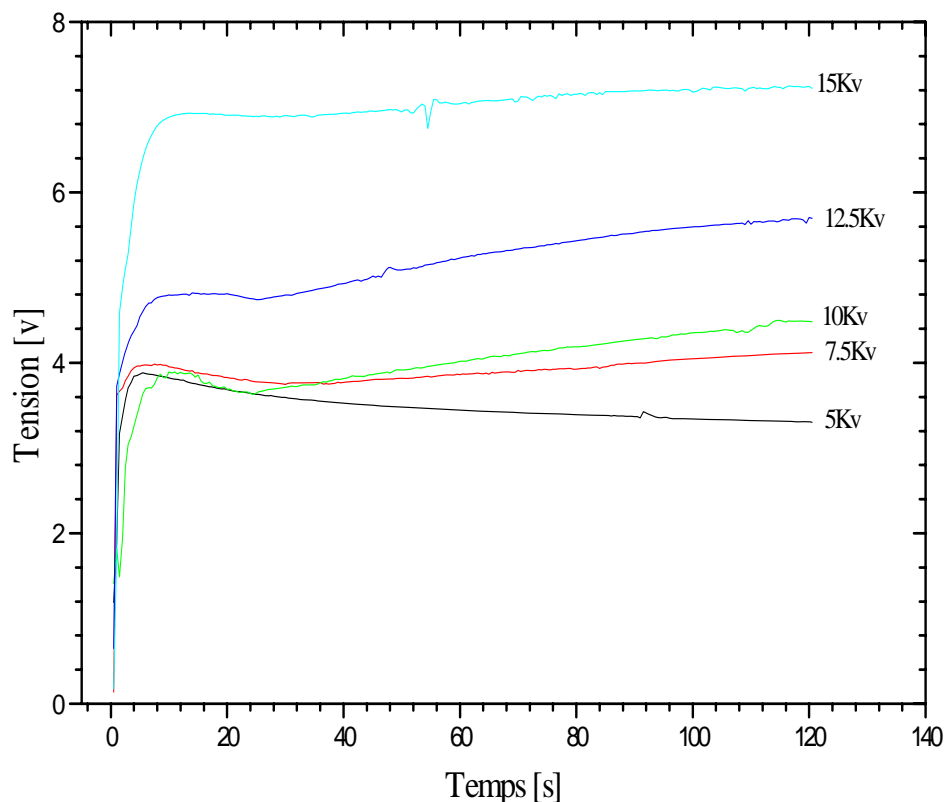


Figure II.11 : Variation temporelle de la tension de retour pour une tension de charge variable, un temps de charge de 10mn et un temps de court circuit 1mn, pour une teneur initiale de 2.5%, pour un papier imprégné d'huile minérale pendant 48 heures.

Interprétation des résultats

L'examen de ces courbes montre que la tension résiduelle augmente avec le niveau de tension appliquée, cela s'explique par le fait que plus l'apport d'énergie est grand, plus la charge de polarisation est importante.

Pour le premier niveau de tension appliqué de 5kV, on a la courbe qui présente un pic pour ensuite, redescendre progressivement vers des valeurs de la tension de retour pratiquement

constantes. Pour le deuxième niveau de tension appliqué 7.5kV, la courbe présente presque la même allure que la précédente avec une atténuation dans un intervalle de temps [20s, 40s], la courbe remonte progressivement vers des tensions plus élevées, contrairement à la première courbe. La troisième courbe qui représente un niveau de tension de 10 kV suit la même allure que la précédente avec une faible augmentation du niveau de tension de retour.

Les trois premières courbes pour les tensions continues variables de 5kV, 7.5kV et 10kV, avec des niveaux de tension de charge différents ont presque toutes un premier pic identique, ce qui nous amène à dire que la tension de retour n'a pas augmenté avec l'augmentation de la tension de charge. Nous constatons aussi, pour la quatrième et la cinquième courbe pour des tensions continues de charges respectives de 12.5kV et 15kV que les niveaux des tensions résiduelles augmentent avec l'augmentation de la tension de charge donnant les mêmes allures que celles obtenues pour les tensions de charges de 7.5kV et 10kV.

c) Troisième essai

Dans cet essai, nous avons utilisé un échantillon de papier imprégné d'huile minérale dont la teneur en eau initiale est de 6% et d'épaisseur 0.5mm. L'échantillon est imprégné dans une huile minérale pendant 48 heures. On le charge pendant 10 mn sous des tensions continues variables de 5kV et 7.5kV ensuite on le court-circuite pendant 1 mn puis nous notons les valeurs de la tension de retour. Les caractéristiques de la tension de retour en fonction du temps sont représentées par la figure (II.12).

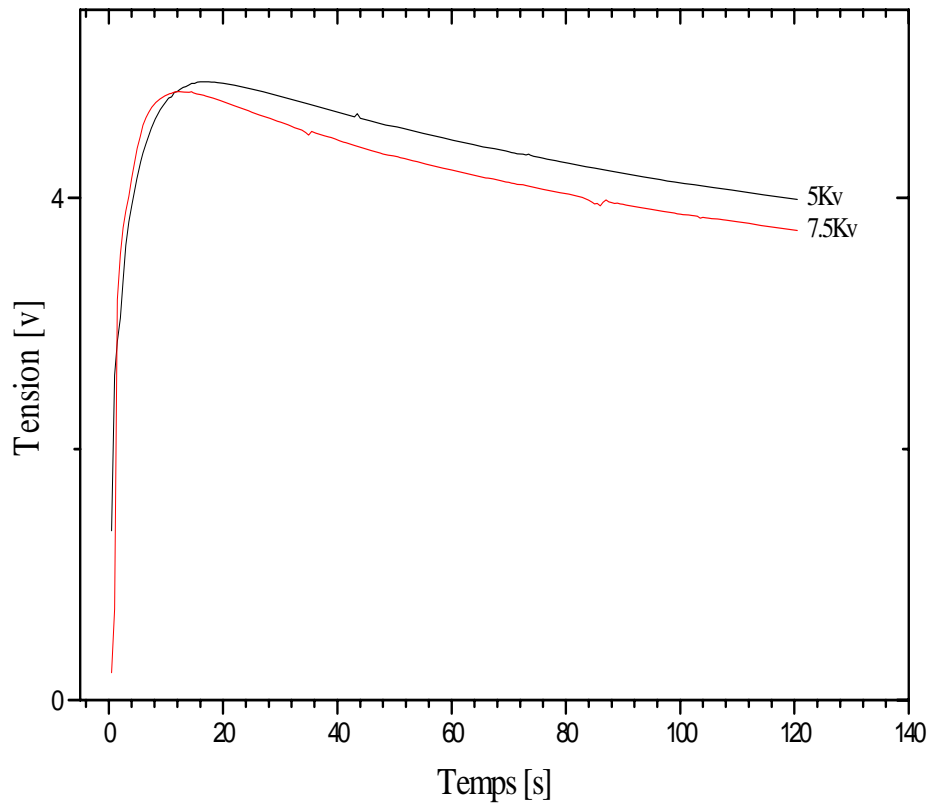


Figure II.12 : variation temporelle de la tension de retour pour des tensions de charges variables, un temps de charge de 10mn et un temps de court circuit 1mn, pour une teneur initiale de 6%, pour un papier imprégné d'huile minérale pendant 48 heures.

Tableau(I.2) : Tableau des maximums des tensions de retour et les temps correspondants

Tension appliquée (kV)	Maximums des tensions de retour (V)	Temps correspondants (s)
5	4.92	16.5
7.5	4.84	12.5

Interprétation des résultats

Les résultats apparaissant sur ces courbes montrent que la tension de retour a diminué avec le niveau de tension appliquée, car l'augmentation de la tension de charge appliquée provoque une diminution de la polarisation des charges résiduelles. Nous voyons bien sur le graphe, la deuxième courbe correspondant à 7.5kV passer sous celle correspondant à 5kV.

II.3.4- Etude de la tension de retour pour le Poly méthacrylate de méthyle (PMMA)

II.3.4.1-Influence du temps de court-circuit et de la tension de charge

Dans cet essai, nous avons utilisé un échantillon de Poly méthacrylate de méthyle (PMMA) communément appelé plexiglass de masse $m = 6.75$ g. On charge le condensateur avec ce matériau comme diélectrique. Le temps de charge est pris égal à 10 mn, les tensions appliquées sont 2kV, 4kV, 8kV et 14kV. Le temps de court-circuit choisi est de 5mn pour le premier essai et de 2 mn pour le second. Les valeurs de la tension de retour sont à chaque fois relevées à l'ouverture du court-circuit. Les valeurs de la tension de retour sont prélevées toute les secondes pendant trois minutes, la durée totale du relevé est de 30 mn. Les caractéristiques de la tension de retour en fonction du temps sont représentées par la figure (II.13 et II.14).

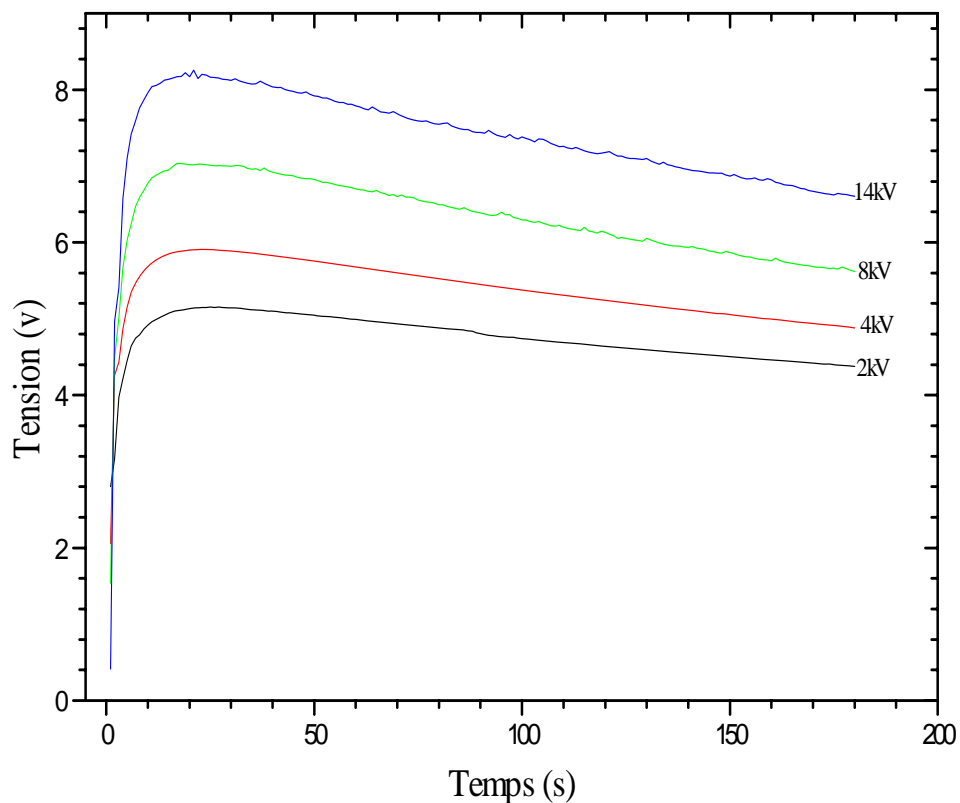


Figure II.13 : Variation temporelle de la tension de retour pour des tensions de charges variables, un temps de charge de 10mn et un temps de court circuit de 5mn.

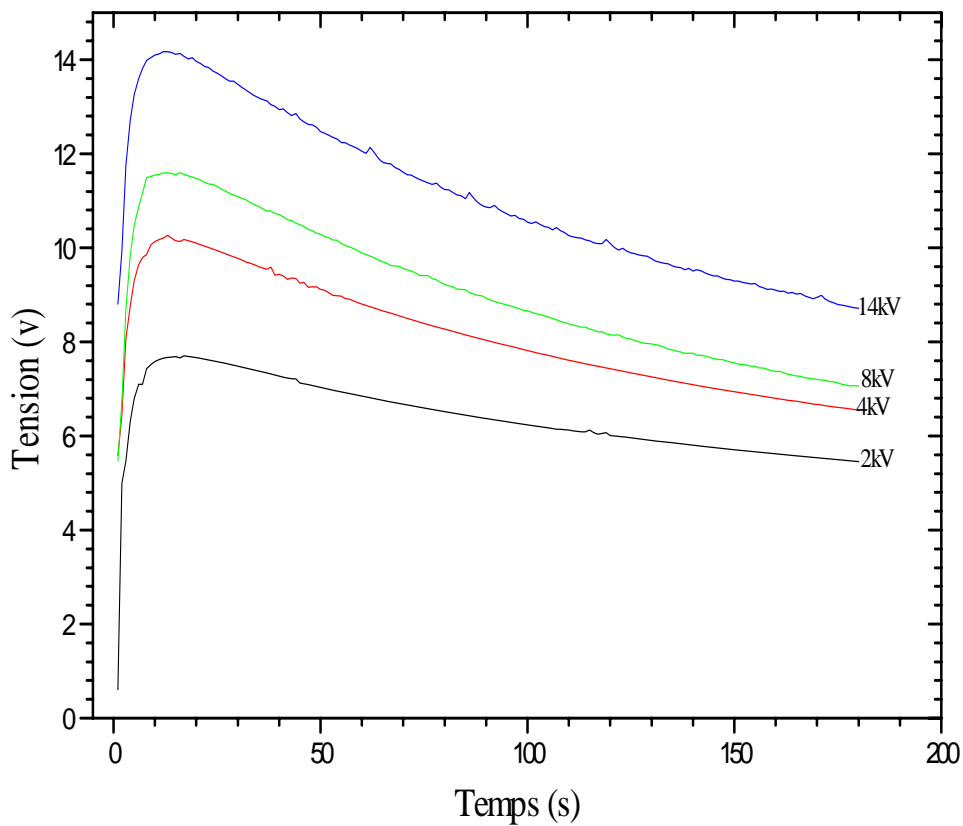


Figure II.14 : Variation temporelle de la tension de retour pour des tensions de charges variables, un temps de charge de 10mn et un temps de court circuit de 2mn.

Interprétation des résultats

Ces courbes montrent que la tension de retour augmente avec le niveau de tension appliquée, car l'augmentation de la tension appliquée provoque une augmentation de la polarisation des charges résiduelles. On constate que la durée du court-circuit influe sur la tension de retour. En effet une faible durée de court-circuit provoque une augmentation de la tension de retour, car la relaxation totale n'est pas atteinte.

I.2.2.4.2- Influence du temps de charge

Dans cet essai, nous avons utilisé le même échantillon utilisé précédemment de Poly méthacrylate de méthyle (PMMA) de masse $m = 6.75$ g. On charge le condensateur plan, dont le diélectrique est un échantillon de PMMA isolant pendant des temps de charges variables de 5, 10, 20 et 30 mn. On le charge sous une tension continue 12kV, le temps de court circuit est de 5mn, puis on relève les valeurs de la tension de retour au moment de l'ouverture du court circuit.

Les caractéristiques de la tension de retour en fonction du temps sont représentées par la figure (II.15).

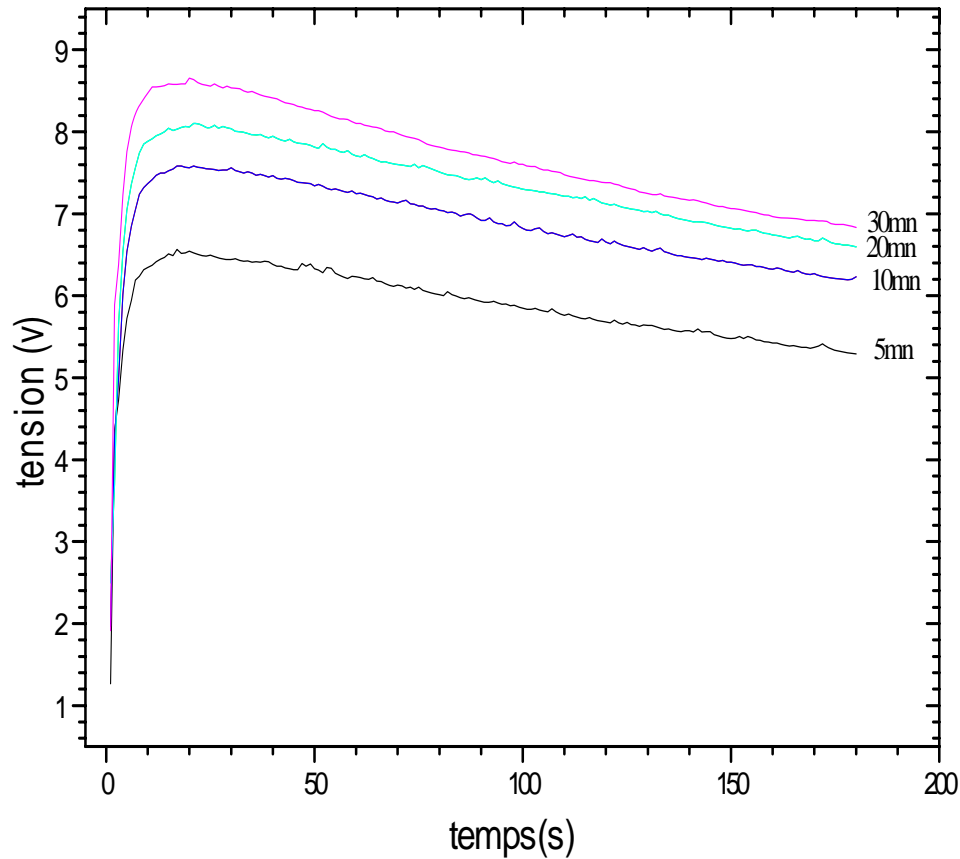


Figure I.3 : Variation temporelle de la tension de retour pour différents temps de charges (5, 10, 20 et 30mn), tension de charge 12 kV et un court circuit de 5mn

Interprétation des résultats

En se référant à ces courbes, nous remarquons que la tension de retour augmente avec le temps, car lorsqu'on charge le condensateur pendant 30 minutes, les molécules se polarisent. Après un certain temps, les valeurs des tensions sont presque constantes parce que les molécules subissent le phénomène de la relaxation, donc la tension de retour demeure quasi constante.

Conclusion générale

L'étude abordée dans le présent mémoire nous a permis d'élargir nos connaissances sur le comportement diélectrique du papier isolant et du poly méthacrylate de méthyle (PMMA).

Dans cette étude nous avons utilisé une méthode d'examen de l'évolution temporelle de la tension de retour en fonction du temps d'exposition à la tension et de court-circuit pour différents échantillons. Ces échantillons sont constitués de papier avec différents taux d'humidité. L'effet de l'imprégnation du papier dans de l'huile minérale a également été étudié. A titre complémentaire un échantillon de méthacrylate de méthyle (PMMA) a été soumis à examen.

A l'issue de nos différentes expériences il est apparu que la tension de retour dépend du temps de charge, du temps de mise en court-circuit ainsi que de la valeur de la tension appliquée. Il a également été mis en évidence que la présence d'humidité dans le papier influe sur la tension de retour. Les divers résultats auxquels nous sommes parvenus peuvent se résumer ainsi :

- ✓ La tension de retour diminue avec l'augmentation du temps de court-circuit.
- ✓ La tension de retour augmente avec la diminution de la teneur en eau du papier.
- ✓ la tension de retour augmente avec l'augmentation du temps de charge.
- ✓ la tension de retour augmente avec la tension de charge appliquée au papier.

A l'issue de notre travail il nous est apparu qu'un prolongement de celui-ci serait très intéressant. Parmi les perspectives qu'il ouvre, la corrélation entre la tension de retour et la nature chimique du diélectrique semble être la plus prometteuse bien que nécessitant des matériels très sophistiqués. L'étude sur site de matériels en fonctionnement pourrait également figurer parmi les suites pouvant être données à ce travail.

Références bibliographiques

- [1] SABRINA ORLOWSKA. « Conception et prédiction des caractéristiques diélectriques des matériaux composites à deux et trois phases par la modélisation et la validation expérimentale ». L'école Doctorale électronique, électrotechnique, automatique de LYON 2002.
- [2] M. AGUET et M.LANOZ, « Haute Tension », deuxième édition, Ecole Polytechnique Fédérale de LAUSANNE. Volume XXII 2002.
- [3] ROBERT FOURNIE, « Les isolants en électrotechnique. Concepts et théorie », Edition EYROLLES, PARIS, 1986.
- [4] A. KEBIR et L.ABBASSEN, « Etude du comportement électrique d'un isolateur à ailette en porcelaine pollué et soumis à une tension continue ». Projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en électrotechnique, option Réseau Electrique. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2006/2007.
- [5] JEAN-CLAUDE DUBOIS, « Propriétés diélectriques des polymères ». Technique de l'ingénieur France, E1850, Mars 1998.
- [6] P. ROBERT, « Matériaux de l'électrotechnique », Edition GEORGI, Volume II, 1979.
- [7] R. MESBAH et M. KEBOUR, « Nouvelles approches d'évaluation des pertes diélectriques dans le papier d'isolation », Projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en électrotechnique, option Réseau Electrique. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2003.
- [8] ROBERT FOURNIE, « Diélectrique, bases théoriques ». Technique de l'ingénieur France, E1956.
- [9] T. WILDI et G. SYBILLE, « ELECTROTECHNIQUE », Quatrième édition, 2005.
- [10] R. COELHO et B. BOUVIER, « Papier et papier imprégné », ». Techniques de l'ingénieur France. Mars 1977.
- [11] F. BITAM-MEGHERBI, « Etude d'une isolation combinée huile/papier isolant. Approche non destructive », Doctorat d'état en électrotechnique, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2007.
- [12] E. KUFFEL, W.S. ZAENGL et J. KUFFEL, « High Voltage Engineering », 2000.
- [13] Z. ZEROULI et S. LARBI « Utilisation des techniques non destructives pour la caractérisation du papier d'isolation des transformateurs », Projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en électrotechnique, option Réseau Electrique. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2007
- [14] BRIGITTE BOUVIER, « Papier et papier imprégné », Technique de l'ingénieur France. Mars 1977.

- [15] N.HADJ-ARAB, « Influence de la teneur en eau sur la conduction électrique du papier isolant » », Projet de fin d'études, Projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en électrotechnique, option Réseau Electrique. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2002.
- [16] N. DAHMANI et A. GARIDI, « Vieillesse climatique du PRC », mémoire D.E.U.A, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2006.
- [17] O. LADJIMI et S. BAHLOUL et R. ALLEG, « Caractéristique diélectrique du PRC vieillie thermiquement utilisé dans les câbles MT », Project de fin d'étude, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2001.
- [18] YVAN. SEGUI, « Diélectrique courant de conduction », Technique de l'ingénieur, D₂ 301, 2000.