

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOKRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées

Spécialité : Réseaux électrique

Option : Ingénierie de l'Energie Electrique et Transport

Université de Bouira
Akli Mohand Oulhadj



جامعة البويرة
أكلي محمد أولحاج

En vu d'obtention d'un diplôme de

Master (LMD)

Présenté par

MEBAREK Mouhamed Naili et BOUGDAD Samir

Thème

Influence du composite $BaTiO_3$ sur les paramètres diélectrique du PVC (application sur l'isolation des câbles de transport d'énergie).

Suivi par :

Mr. : BERRAG Amine (Promoteur)

Devant le jury:

Président : Mr. GRICHE Issam

Examineur : Mlle. KIRECHE Nora

Examineur : Mr. YAHIOU Abd Elghani

2016

REMIRCIEMENT

Remercîment

A Dieu le Tout Puissant de nous avoir donné le courage, la santé, et nous accordé son soutien durant les périodes les plus difficiles.

Ce travail a été effectué sous la direction de Monsieur BERRAG Amine enseignant à l'université de Bouira, qu'il nous soit permis de lui exprimer nos vifs sentiments de gratitude, pour avoir dirigé ce travail, pour l'aide, le suivi et l'attention constante qu'il a apporté à nous égard, lors de l'élaboration de ce travail.

On tient à exprimer nos plus vifs remerciement à monsieur SAOUDI Kamel enseignant à l'université de Bouira, faculté de génie électrique pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant de juger ce travail et de présider le jury d'examen.

Nos remerciements vont encore à monsieur GRICHE Issam enseignant à l'université de Bouira, faculté de génie électrique pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant d'examiner ce travail et de faire partie du jury de soutenance.

On désir aussi remercier Monsieur TOUAFEK Mohamed Yaakoub enseignant à l'université de Bouira, pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant de juger ce travail.

On tient plus largement à exprimer notre reconnaissance à toutes celles et à tous ceux qui ont contribué directement ou indirectement au bon déroulement de nos travaux.

DEDICACE



DEDICACE

Je dédie ce travail :

A l'âme de mon très cher père qui a tant espéré voir ce jour.

A ma mère qui m'a soutenue durant mes études et ne m'a jamais privée de son amour, de son attention et de ses encouragements, à toi maman je dédie ce travail.

A mon frère et ma sœur

A toute ma famille

A tous mes amies et mes collègues.

Et à tous ceux qui m'ont aidé

Bougdad Samir

DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail A la chandelle de
ma vie, à la lumière de mon univers, à la source de
tendresse, à la femme qui ma mis du monde ma mère.
A l'homme qui mérite tous mon grand respect et ma
profonde reconnaissance, et qui je lui remercie mon
père pour ces conseils ; ainsi qu'a mes frères et seours
ainsi tout mes amis.*

Mebarek Mouhamed Naili

***LISTE DES
SYMBOLES ET
ABRIVIATIONS***

Liste des symboles et abréviations

| | |
|--------------------|--|
| PVC | Polychlorure Vinyle |
| BaTiO ₃ | Titanate de Baryum |
| PET | polyéthylène Téréphtalate |
| SiO ₂ | Silice |
| PP | Polypropylène |
| PE | Polyéthylène |
| PpP | polyparaphenylene |
| EP | Epoxyde |
| Pf | Phénol-formaldéhyde |
| Si | Silicone |
| NaCl | Chlorure de sodium |
| CVM | Chlorure de Vinyle Monomère |
| DINP | Di-Iso-NonylPhtalate |
| DIDP | Di-Iso-DecylPhtalate |
| DEHP | Di-éthylhexylPhtalate |
| DOP | Dioctylphtalate |
| PEBD | PolyEthylène Basse Densité. |
| PEHD | PolyEthylène Haute Densité. |
| XLPE – PRC | Cross LinkedPolyETHylene – PolyEthylène Réticulé Chimiquement. |
| EPR | Ethylène Propylène RubberCopolymer. |
| EVA | Copolymère Ethylène Vinyle Acétate. |
| XLPE – PRC | Cross LinkedPolyETHylene – PolyEthylène Réticulé |
| EPDM | Ethylène – Propylène – Diène – Monomère |
| Sc | Scandium |

Liste des symboles et abréviations

| | |
|------------------|-----------------------|
| Sm | Samarium |
| Y | l'Yttrium |
| g/cm^3 | Densité |
| C° | Température de fusion |
| g/mole | Masse molaire |
| Gpa | Module d'Young |
| ϵ_r | Permittivité relative |
| G | Rigidité diélectrique |
| σ | variance |
| λ | constante |

***LISTE DES
FIGURES***

Liste des figures

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure I.1 : Microstructure typique d'une surface céramique polie qui illustre les grains monocristallins, joints de grains et pore | 3 |
| Figure I.2 : Différentes types des homopolymères..... | 7 |
| Figure I.3: Différentes types des copolymères | 7 |
| Figure I.4 : Polychlorure de vinyle..... | 10 |
| Figure I.5: Le polymère de base du PVC | 11 |
| Figure I.6: Polymérisation en suspension | 12 |
| Figure I.7: polymérisation en émulsion | 12 |
| Figure I.8 : Structure d'un câble haute tension | 17 |
| Figure I.9: Dispositif expérimental de la méthode hydrothermale | 20 |
| Figure I.10 : Schéma de la maille unitaire de BaTiO ₃ | 21 |
| Figure I.11 : Transition de phase de BaTiO ₃ | 22 |
| Figure II.1 : Représentation de Fresnel des courants I _p , I _c et I..... | 28 |
| Figure II.2 : Schéma descriptif de l'avalanche | 31 |
| Figure II.3: Signature diélectrique des différents types de polarisation en fonction de fréquence. | 33 |
| Figure II.4: Relaxation diélectriques multiples dans un polymère en fonction de la température | 36 |
| Figure II.5 : Evolution du facteur de pertes diélectriques du polyéthylène en fonction de la température à 10 KHz | 37 |
| Figure III.1: Mélangeur à 2 cylindres (Rodolfo Comercio) | 39 |
| Figure III.2: Films de PVC vierge et avec BaTiO ₃ | 39 |
| Figure III.3: Presse pour augmenter l'épaisseur de PVC | 40 |
| Figure III.4: Circuit équivalent d'un diélectrique en parallèle | 41 |
| Figure III.5: Circuit équivalent d'un diélectrique en série | 41 |
| Figure III.6 : Le déphasage entre I _c et I _p | 43 |
| Figure III.7: Analyseur d'impédance (WAYANE KERR 6420) | 46 |
| Figure III.8 : Courbe représentant le facteur de dissipation (film PVC et film PVC dopé avec BaTiO ₃) | 51 |
| Figure III.9: Courbe représentant la constante diélectrique (film PVC et film PVC dopé avec BaTiO ₃) | 52 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure III.10: Courbe représentant l'indice de perte (film PVC et film PVC dopé avec BaTiO ₃) ... | 53 |
| Figure III.11: Courbe représentant l'impédance (film PVC et film PVC dopé avec BaTiO ₃)..... | 54 |
| Figure III.12: Courbe représentant la résistance (film PVC et film PVC dopé avec BaTiO ₃)..... | 55 |
| Figure III.13: Courbe représentant le courant diélectrique (film PVC et film PVC dopé avec BaTiO ₃) | 56 |
| Figure III.14: Courbe représentant les pertes diélectrique (film PVC et film PVC dopé avec BaTiO ₃) | 57 |

***LISTE DES
TABLEAUX***

Liste des Tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau I.1: Caractéristiques de BaTiO ₃ | 19 |
| Tableau II .1: Conductivité de quelques polymères | 26 |
| Tableau III.1 : Les valeurs des propriétés diélectrique d'un PVC vierge. | 48 |
| Tableau III.2: Les valeurs des propriétés diélectrique d'un PVC dopé de 2% BaTiO ₃ | 48 |
| Tableau III.3: Les valeurs des propriétés diélectrique d'un PVC dopé de 4% BaTiO ₃ | 49 |
| Tableau III.4: Les valeurs des propriétés diélectrique d'un PVC dopé de 6% BaTiO ₃ | 50 |
| Tableau III.5: Les valeurs des propriétés diélectrique d'un PVC dopé de 8% BaTiO ₃ | 50 |

SOMMAIRE

Sommaire

Sommaire

| | |
|--|----|
| Liste des symboles et abréviations | |
| Liste des figures | |
| Liste des Tableaux | |
| Introduction général | 01 |
| Chapitre I : Présentation générale des matériaux polymères | |
| I-1. Introduction | 02 |
| I-2. Définition d'un isolant | 02 |
| I-3. Différents types d'isolants utilise en électrotechnique | 02 |
| I-3-1. Les isolants liquides | 02 |
| I-3-2. Les isolants gazeux | 02 |
| I-3-3. Les isolants solides | 03 |
| I-3-3- 1. Les isolants inorganiques | 03 |
| a- Les céramiques techniques | 03 |
| b- Verres | 04 |
| c- Les micas et produit micacés | 04 |
| I-3-3- 2. Les isolants organiques | 04 |
| a- Les isolants organiques naturels | 04 |
| b- Les isolants organiques synthétiques | 04 |
| b-1. Les polymères | 04 |
| I-4. Classification des polymères | 05 |
| I-5. Les caractéristiques des polymères | 06 |
| I-5-1. La structure chimique et la fonctionnalité des motifs | 06 |
| I-5-2. La géométrie de la macromolécule | 08 |
| I-6. Les propriétés des polymères | 08 |
| I-6-1. Propriétés électriques | 08 |
| I-6-2. Propriétés chimique | 08 |
| I-6-3. Propriétés physique | 08 |

Sommaire

| | |
|--|----|
| I-6-4. Propriétés thermiques | 09 |
| I-7. Polychlorure Vinyle (PVC) | 10 |
| I-7-1. Définition | 10 |
| I-7-2. Formule de synthèse | 10 |
| I-7-3. Fabrication..... | 10 |
| I-7-4. Synthèse du monomère | 11 |
| I-7-5. Polymérisation..... | 11 |
| I-7-5-1. Polymérisation en suspension | 11 |
| I-7-5-2. Polymérisation en émulsion | 12 |
| I-7-6. Production et transformation du polychlorure de vinyle P.V.C | 13 |
| I-7-6-1. Stabilisants | 13 |
| I-7-6-2. Plastifiants | 13 |
| I-7-6-3. Pigments | 13 |
| I-7-6-4. Charges | 13 |
| I-7-6-5. Lubrifiants | 14 |
| I-7-7. Propriétés du PVC | 14 |
| I-7-7-1. Propriétés chimiques | 14 |
| I-7-7-2. Propriétés électriques | 14 |
| I-7-7-3. Propriétés thermiques..... | 14 |
| I-7-7-4. Propriétés dimensionnelles | 15 |
| I-8. Utilisation des PVC pour le transport d'électricité..... | 15 |
| I-8-1. Câbles électriques | 15 |
| I-8-2. Avantages et inconvénients du PVC | 17 |
| I-9. Dopages des polymères | 18 |
| I-10. Le titanate de Baryum BaTiO ₃ | 18 |
| I-10-1. Caractéristique de BaTiO ₃ | 19 |
| I-10-2. Méthodes de synthèse de BaTiO ₃ | 19 |
| I-10-3. Structure | 21 |
| I-10-4. Influence de la température sur la structure de BaTiO ₃ | 21 |

Sommaire

| | |
|------------------------|----|
| I-11. Conclusion | 22 |
|------------------------|----|

Chapitre II : Matériaux diélectriques

| | |
|--|----|
| II-1. Introduction..... | 23 |
| II-2. Définition d'un diélectrique..... | 23 |
| II-3. Utilisation des diélectriques..... | 23 |
| II-4. Caractéristiques diélectriques des isolants | 24 |
| II-4-1. Permittivité relative | 24 |
| II-4-2. Rigidité diélectrique..... | 24 |
| II-4-3. La conductivité | 25 |
| II-4-4. Champ électrique dans un isolant | 26 |
| II-4-5. Influence de la température..... | 27 |
| II-4-6. Influence de la fréquence | 27 |
| II-5. Propriétés des diélectriques | 27 |
| II-5-1. Notions sur les diélectriques | 27 |
| II-6. Phénomène de polarisations | 31 |
| II-6-1. Différents type de polarisation | 32 |
| II-7. Phénomène de conduction de charge dans les polymères | 34 |
| II-8. La différence entre la polarisation et la conduction | 34 |
| II-9. La relaxation..... | 34 |
| II-9-1. Définition | 34 |
| II-9-2. Origines de la relaxation diélectrique | 35 |
| II-9-3. Phénomène de la relaxation diélectrique dans les polymères..... | 35 |
| II-9-3-1. Relaxation dans les polymères amorphes..... | 36 |
| II-9-3-2. Relaxation dans les polymères semi-cristallins..... | 36 |
| II-10. Variation du temps de relaxation en fonction de la température..... | 37 |
| II-11. Conclusion..... | 37 |

Chapitre III : Partie expérimentale

| | |
|--|----|
| III-1. Introduction | 38 |
| III-2. Préparation des films de PVC | 38 |
| III-3. La presse pour augmenter l'épaisseur de PVC | 40 |
| III-4. Partie mathématique | 40 |
| III-4-1. Circuit équivalent d'un diélectrique | 40 |
| III-4-2. Calcul de la permittivité | 42 |
| III-4-3. Calcul de la capacitance | 43 |
| III-4-4. Calcul de la résistance | 43 |
| III-4-5. Calcul de facteur de dissipation | 43 |
| III-4-6. Calcul des pertes | 44 |
| III-4-7. Calcul de courant diélectrique | 45 |
| III-5. Appareils de mesure | 45 |
| III-6. Paramètres à mesure | 47 |
| III-7. Résultats et discussion | 47 |
| III-8. Présentation des courbes | 51 |
| III-9. Interprétation des résultats | 58 |
| III-10. Conclusion | 58 |
| Conclusion générale | 59 |
| Bibliographie | |
| Résumé | |

INTRODUCTION
GENERALE

Introduction générale

Grâce à leurs performances physico-chimiques, les matériaux diélectriques à base de polymère trouvent un champ d'application de plus en plus important dans l'industrie et notamment dans le domaine du génie électrique : câbles de transport d'énergie, condensateurs...

Dans l'étude d'un matériau diélectrique, une analyse des propriétés électriques, en particulier celles de la mobilité moléculaire induite par les phénomènes de relaxation, peut s'avérer un instrument intéressant pour apprécier l'état du matériau et quantifier son évolution sous l'influence de certaines contraintes électriques et/ou d'un vieillissement. L'instabilité structurale des isolants organiques rend très difficile l'optimisation de leurs performances, qui peuvent varier en fonction des contraintes auxquelles ils sont soumis. En effet, à cause d'un échauffement local d'un composant par exemple, un diélectrique à base de polymère n'est pas à l'abri d'une modification structurale irréversible qui peut être à l'origine de la défaillance d'un système électrique.

Dans ce travail, nous avons préparé des matériaux diélectriques non linéaires à base du PVC à partir des poudres BaTiO₃ et d'étudier leurs propriétés diélectriques.

Enfin, Nous nous sommes proposés d'investiguer les effets d'additions de BaTiO₃ sur la permittivité diélectrique relative ainsi que sur l'angle de perte et la conductance de ces matériaux.

Ce mémoire comporte trois parties :

Le premier chapitre est tout d'abord consacré à la présentation de l'état de connaissance sur les isolants solide en général, et on à citer quelques notions sur les PVC et le titane de barium (BaTiO₃).

Le chapitre II, présente des généralités sur les diélectriques : définition, utilisations et caractéristiques des milieux diélectriques, et classification diélectrique, les différents phénomènes apparaitront comme le phénomène de polarisation, de relaxation.

Le chapitre III, Ce chapitre a pour but étudier l'homogénéité des propriétés diélectriques sur nos échantillon Pour cela nous avons mesuré la réponse du diélectrique en fonction de la fréquence, ainsi que la variation de la permittivité $\epsilon' = F(f)$, indice de perte $\epsilon'' = F(f)$ et le facteur de dissipation $D = F(f)$.

CHAPITRE I

Chapitre I : Présentation générale des matériaux polymères

I – 1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les types des isolants utilisés en électrotechnique et l'utilisation des polymères et composites pour le transport d'électricité. Ensuite, on présentera quelques notions sur le Polychlorure Vinyle (PVC), puis la notion et propriétés et application pour le titanate de baryum BaTiO₃.

I – 2. Définition d'un isolant

Un isolant est un matériau qui ne conduit pas l'électricité. Sa destination première est d'empêcher tout contact entre des pièces métalliques portées à des potentiels différents. Une façon plus simple de définir un matériau isolant est de dire qu'il est caractérisé par une résistivité électrique très élevée.

I-3. Différents types d'isolants utilisés en électrotechnique

Les milieux électriques regroupent les isolants solides, liquides et gazeux.

I-3-1. Isolants liquides

Les huiles isolantes sont utilisées en électrotechnique comme imprégnant d'isolations celluloses ou comme produit de remplissage de matériels électriques très divers. Leur rôle principal est d'éliminer l'air et les autres gaz de façon à améliorer la tenue diélectrique de l'isolation.

I-3-2. Isolants gazeux

Dans les conditions normales, un des meilleurs isolants connus est l'air qui nous entoure. Ses caractéristiques thermiques sont supérieures à celles des porcelaines ; il peut aussi agir comme agent de refroidissement et ne coûte absolument rien. Cependant, à des températures élevées, l'air devient bon conducteur par suite du phénomène d'ionisation.

Ces isolants gazeux ayant des propriétés particulières :

- Rigidité diélectrique variable suivant la nature de gaz ;
- Permittivité faible, les gaz sont auto-générateurs ;
- Phénomène d'ionisation des gaz ;

· Légers et inflammables.

Les principaux isolants gazeux sont : l'air atmosphérique, l'azote, gaz rares de l'air, l'hydrogène

I-3-3. Isolants solides

Les isolants solides trouvent des applications dans un grand nombre de dispositifs de production, de transport, de distribution de l'énergie électrique. On les regroupe en deux catégories principales selon leur nature organique ou inorganique.

I-3-3-1. Isolants inorganiques

Les principaux isolants inorganiques regroupent :

a- Céramiques techniques

Le terme céramique évoque souvent des objets rustiques comme des poteries, des briques et des tuiles. Une céramique est un matériau solide de synthèse qui nécessite souvent des traitements thermiques pour son élaboration. La plupart des céramiques modernes sont préparées à partir de poudres consolidées (mise en forme) et sont densifiées par un traitement thermique (le frittage).[1]

La plupart des céramiques sont des matériaux polycristallins, c'est-à-dire comportant un grand nombre de microcristaux bien ordonnés (grains) reliés par des zones moins ordonnées (joints de grains) comme illustré en figure I.1

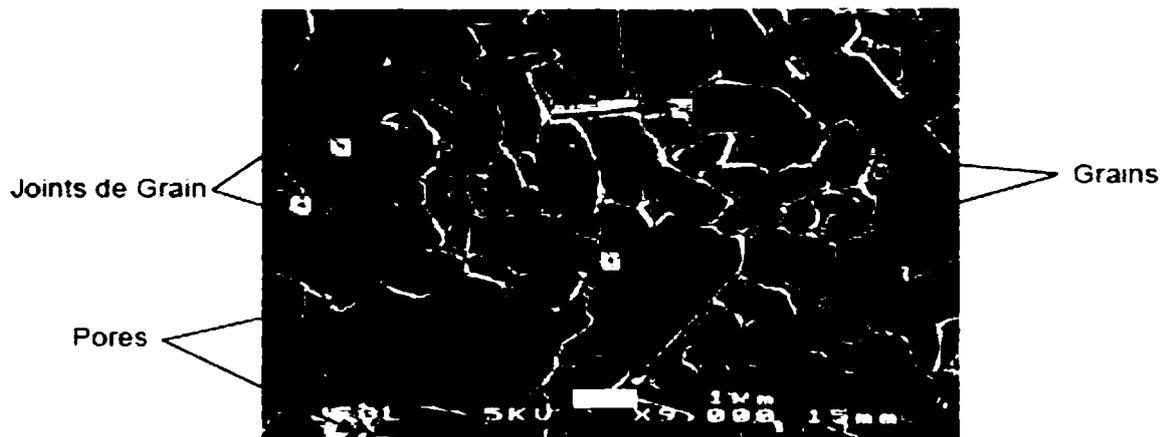


Figure I-1. Microstructure typique d'une surface céramique polie qui illustre les grains monocristallins, joints de grains et pore.[1]

b- Verres

Le verre, dans le langage courant, désigne un matériau ou un alliage dur, fragile (cassant) et transparent au rayonnement visible, souvent issu de sable siliceux. Le plus souvent, le verre est constitué d'oxyde de silicium (silice SiO_2) et de fondants. [1]

Les verres sont utilisés dans le domaine de l'électrotechnique et les principales applications sont l'isolement électrique de conducteurs ou d'éléments sous tension dans les réseaux de transport et de distribution d'électricité.

c- Micas et produit micacés

Le mica est un minéral brillant formé de silicate d'aluminium et de potassium. Il présente une impédance considérable pour l'industrie électrique, par suite des propriétés particulières qui s'attachent à ce matériau. Il est en effet doté d'une excellente tenue à la température, d'une rigidité diélectrique élevée et d'une inertie chimique remarquable. Le mica continue à être le matériau de choix et de base des systèmes d'isolation moyenne et haute tension. Les technologies d'emploi du mica n'ont pas cessé d'évoluer au cours des années, tant pour répondre à des demandes d'amélioration de performances que de rationalisation ou de réduction de coût.[2,3].

I-3-3- 2. Isolants organiques

La catégorie des isolants organiques se subdivise entre matériaux naturels comme les caoutchoucs, paraffines et papier, et synthétiques (élastomères, polymères et composites).

A- Isolants organiques naturels

Les papiers et les cartons restent des matériaux de choix pour l'isolation des transformateurs haute tension et moyenne tension. Le choix de l'imprégnant est important étant donné que c'est de lui que dépendent les caractéristiques de l'isolation au papier. Pour imprégner les papiers isolants, les huiles végétales, la paraffine [4]

B- Isolants organiques synthétiques

B-1- Polymères :

Un polymère est un matériau composé de longues chaînes moléculaires appelées macromolécules. Dans ces macromolécules, un motif. Un matériau polymère résulte de la polymérisation de la molécule organique de petite taille. Le degré de polymérisation n correspond

Chapitre I : Présentation générale des matériaux polymères

au nombre de fois que le monomère est répété. La longueur caractéristique d'une chaîne est d'environ un micron. [5]

Un polymère peut être naturel comme les polysaccharides ou artificiel, obtenu par modification chimique d'un polymère naturel (exemple : acétate de cellulose, méthylcellulose, galalithe). Le polymère peut également être synthétique, préparé par polymérisation de molécules monomère, comme le polystyrène, ou polyisoprène synthétique. On distingue deux grandes catégories de réactions chimiques permettant la réparation des polymères : [2]

- la polymérisation en chaîne ou polyaddition qui permet de produire, par exemple, le polyéthylène, le polypropylène et le polystyrène.
- La polymérisation par étapes ou polycondensation qui permet de fabriquer le polyéthylène téréphtalate (PET).

Il existe des polymères souples tel le polyéthylène (PE) tout comme des polymères rigides tels le polyparaphénylène (PPP). Le squelette du polymère est stabilisé par des liaisons chimiques covalentes et il ne se dissout donc pas en solution. La cohésion entre macromolécules est assurée par des liaisons physiques ou hydrogènes, lesquelles se rompent sous l'effet d'un chauffage.

Les polymères sont souvent classés d'après leurs propriétés thermomécaniques. Citons notamment :

- Les polymères thermoplastiques qui deviennent malléables quand ils sont chauffés, ce qui permet leur mise en œuvre.
- Les polymères thermodurcissables qui durcissent de façon irréversible sous l'action de la chaleur et/ou par ajout d'un additif.

I-4. Classification des polymères

On peut les classer en deux catégories.

- **Selon leur origine** : on peut les classer en trois catégories.

Polymères naturels : sont issus des règnes végétal ou animal, leur importance est considérable. On peut cependant mentionner, dans cette catégorie, la famille des polysaccharides (cellulose, ...), celle des protéines (laine, soie...), le caoutchouc naturel, etc. [6].

Polymères artificiels : sont obtenus par modification chimique de polymères naturels amidon, de façon à transformer certaines de leurs propriétés ; l'ester cellulosique (nitrocellulose, acétate de cellulose...) ont toujours connu une certaine importance économique.

Chapitre I : Présentation générale des matériaux polymères

Polymères synthétiques : totalement issus du génie de l'homme, sont obtenus par polymérisation de molécules monomères. Leur variété est extrême et ce sont eux qui seront le plus souvent considérés par la suite.

➤ **Selon leur domaine d'application**: il est difficile de proposer une classification exhaustive tant la variété des propriétés a multiplié les applications des polymères, comme matériaux en particulier. Il est cependant possible de regrouper les polymères en trois grandes catégories :

- Les polymères de grande diffusion (encore appelés polymères de commodité), dont la production annuelle s'évalue par millions de tonnes, sont devenus d'un emploi quotidien pour tous. Le polyéthylène, le polystyrène, le poly (chlorure de vinyle) et quelques autres sont à classer dans cette catégorie d'une importance économique considérable.

- Les polymères techniques ont des caractéristique qui leur permettent de se substituer, de plus en plus aux matériaux traditionnels (métaux, céramiques,...) pour de nombreuses application ; les polymères, les polyamides, les polyacétals... font partie de cette famille.

- Les polymères spéciaux (ou polymères de fonction) présentent généralement une propriété qui induit leur utilisation pour une application particulière. C'est dans cette catégorie que se trouvent les polymères conducteurs, photoactifs, thermostables, adhésifs, etc. [6]

Tous les spécialistes ne donnent pas la même définition à chacune de ces catégories même s'ils s'accordent sur les termes.

I-5. Caractéristiques des polymères

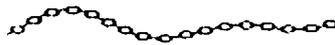
I-5-1. La structure chimique et la fonctionnalité des motifs

Il existe deux types de polymères, les homopolymères et copolymères:

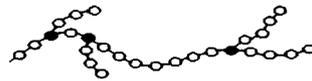
➤ **Les homopolymères :**

Les homopolymères sont des polymères qui ne possèdent qu'une seule unité et parmi lesquels nous pouvons citer le polyéthylène [7]. Il existe trois types d'homopolymères [8].

Les homopolymères linéaires



Les homopolymères branchés



Les homopolymères étoilés

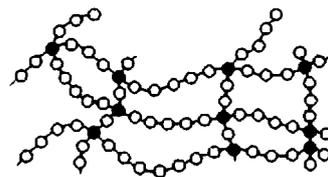


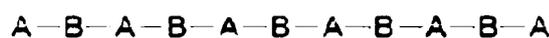
Figure I-2. Différentes types des homopolymères.

➤ Les copolymères :

Les copolymères sont des polymères qui possèdent plusieurs unités. Comme pour les homopolymères, les copolymères peuvent se classer dans différentes familles. On parle alors de mode de copolymères. [1]

Pour la suite du paragraphe, A et B seront deux unités différentes du copolymère. Parmi les différents modes de copolymère, nous trouvons : [8]

le mode alterné



le mode séquentiel



le mode greffé

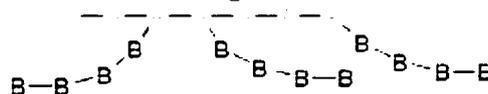


Figure I-3. Différentes types des copolymères.

I-5-2. La géométrie de la macromolécule

La géométrie de la macromolécule peut être caractérisée par l'ordre atomique et la distribution des liaisons.

- **L'ordre atomique** : On distingue selon cette caractéristique plusieurs types :
- **Polymère amorphe** : ou les atomes sont désordonnés le long de la chaîne du polymère.
- **Polymère cristallin** : suite à certaines conditions tel le refroidissement lent après fusion, les polymères peuvent posséder une structure semi ordonnée et donner lieu à une cristallisation partielle. [8]

I-6. Propriétés des polymères

I-6-1- Propriétés électriques

➤ Résistivité superficielles

La résistance à la décharge électrique superficielle est importante dans les applications où une décharge électrique peut endommager le matériau, et en le carbonisant, le rendre conducteur. La résistance superficielle est fortement influencée par l'humidité. [9]

➤ Résistivité transversale :

Elle caractérise le pouvoir isolant du matériau. Pour la majorité des polymères la valeur de la résistivité transversale est supérieure à $10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ à la température ambiante. [9]

I-6-2. Propriétés chimique

Ces propriétés englobent des caractéristiques diverses : imperméabilité aux liquides et aux gaz, résistance chimique aux solvants et résistance aux rayons ultraviolets.

I-6-3. Propriétés physique

Avant tout, rappelons qu'il existe une grande variété de matières plastiques, tout comme il existe un grand nombre d'alliages métalliques, une des caractéristiques physiques générales des polymères est :

- **La masse volumique** : La masse volumique des matières est peu élevée. La légèreté des polymères est sans aucun doute une des qualités qui a le plus largement contribué à leur diffusion.

Chapitre I : Présentation générale des matériaux polymères

La faible masse volumique des plastiques est due au faible poids atomique des principaux atomes de leurs chaînes.

I-6-4. Propriétés thermiques

On peut classer les polymères en deux types, en fonction de leur réaction à la chaleur : les thermoplastiques et les thermodurcissables.

➤ Les thermoplastiques

Les thermoplastiques sont constitués de macromolécule linéaire ou ramifiées, liées entre elle par des liaisons physiques. Ces matières sont solides à température ambiante. Elles se ramollissent à la chaleur jusqu'à un état plastique dans lequel elles se laissent plus facilement se déformer. Ce processus est réversible, c'est-à-dire que les thermoplastiques se rigidifient de nouveau au refroidissement. Selon la régularité de leur chaîne, ces polymères peuvent se cristalliser (thermoplastique semi-cristallins) ou (thermoplastiques amorphes).

Ce qui caractérise un matériau thermoplastique est la possibilité, après avoir subi un état thermomécanique, d'être ramené par des moyens physiques à l'état initial. [10]

➤ Les thermodurcissables

Les matières thermodurcissables diffèrent nettement des matières thermoplastiques, non seulement du point de vue de la structure chimique, mais aussi des technologies de mise en forme requises. Les principaux représentants de la famille des thermodurcissables sont les polyesters insaturés (UP), les époxydes (EP), les phénoplastes (phénol-formaldéhyde PF, notamment), les aminoplastes, les acrylates et les silicones (SI). Ces matières trouvent des applications, en particulier après renforcement par des fibres, pour l'élaboration d'équipements industriels et sportifs, mais aussi dans la construction aéronautique et d'engins spatiaux.

Les thermodurcissables sont stables même à des températures relativement élevées et présentent en général une bonne tenue vis-à-vis des milieux agressifs. Ils ne peuvent jamais revenir à l'état initial quand leur température a été augmentée. [10]

I-7. Polychlorure de Vinyle (PVC)

I-7-1. Définition

Le PVC est une des matières plastiques modernes qui connaît le plus grand succès. Il est utilisé dans notre vie quotidienne pour diverses applications et joue un rôle prépondérant dans la protection de notre santé dans notre sécurité.

Le pvc est fabriqué à partir de deux matières premières naturelles :

Le pétrole et le sel. Le pétrole fait office de source de carbone, le sel de fournisseur de chlore.

Comme tous les polymères, le PVC est une longue chaîne composée d'éléments identiques ou monomères. Pour le PVC, il s'agit du chlorure de vinyle monomère ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{Cl}$). Une molécule de PVC contient 750 à 1.500 monomères. [6]

I-7-2. Formule moléculaire

Le PVC a pour formule chimique $(\text{CH}_2-\text{CHCl})_n$ (figure I.2). Il est obtenu par polymérisation radicalaire du monomère chlorure de vinyle $\text{CH}_2=\text{CHCl}$. [11]

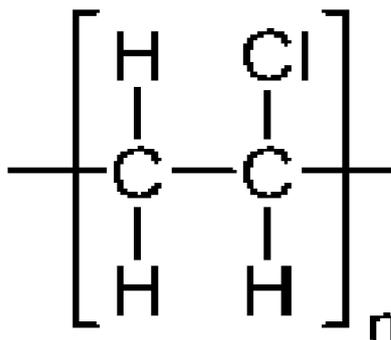


Figure I.4 : Polychlorure de vinyle

I-7-3. Fabrication

Découvert en 1835 par le physicien français Victor Regnault, le PVC est composé à 57 % de chlore et à 43 % d'éthylène, hydrocarbure composé de carbone et d'hydrogène issu du pétrole.

Le chlore est obtenu par électrolyse du sel (chlorure de sodium : NaCl). Par suite de réactions entre le chlore et l'éthylène, on obtient le chlorure de vinyle monomère (CVM) qui, par polymérisation, donne le PVC. La polymérisation est la réaction chimique par (CVM) qui, par polymérisation, donne le PVC. La polymérisation est la réaction chimique par laquelle les molécules s'additionnent les unes aux autres pour former une chaîne de grande longueur. [6]

I-7-4. Synthèse du monomère

La synthèse du chlorure de vinyle monomère (CVM) est réalisée suivant deux principes aux procédés :

L'addition du gaz chlorhydrique sur l'acétylène :



La chloration de l'éthylène en 1,2-dichloroéthane, puis pyrolyse de ce dernier : [11]



I-7-5. Polymérisation

La réaction de polymérisation du chlorure de vinyle monomère par voie radicalaire donne naissance à des macromolécules linéaires de masses moléculaires moyennes déterminées dont la répartition présente une allure gaussienne asymétrique. C'est une réaction fortement exothermique.[8]

Le polymère de base du PVC est une poudre blanche inerte. Voici une présentation schématique de sa structure :

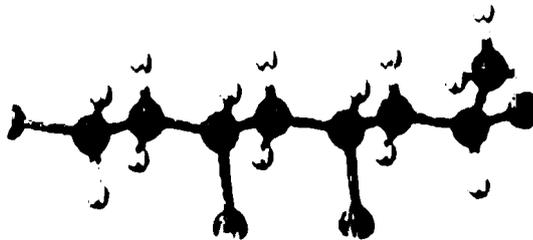


Figure I-5 : Le polymère de base de PVC

I-7-5-1. Polymérisation en suspension

Dans un grand récipient (autoclave), on mélange fermement le MVC avec une certaine quantité d'eau. La polymérisation commence après ajout d'un initiateur. Lorsque 90 % du MVC est polymérisé, la réaction est stoppée. Le MVC qui n'a pas été transformé est récupéré et réutilisé. Après séchage et tamisage, Le PVC est stocké et emballé sous forme de poudre blanche inerte.

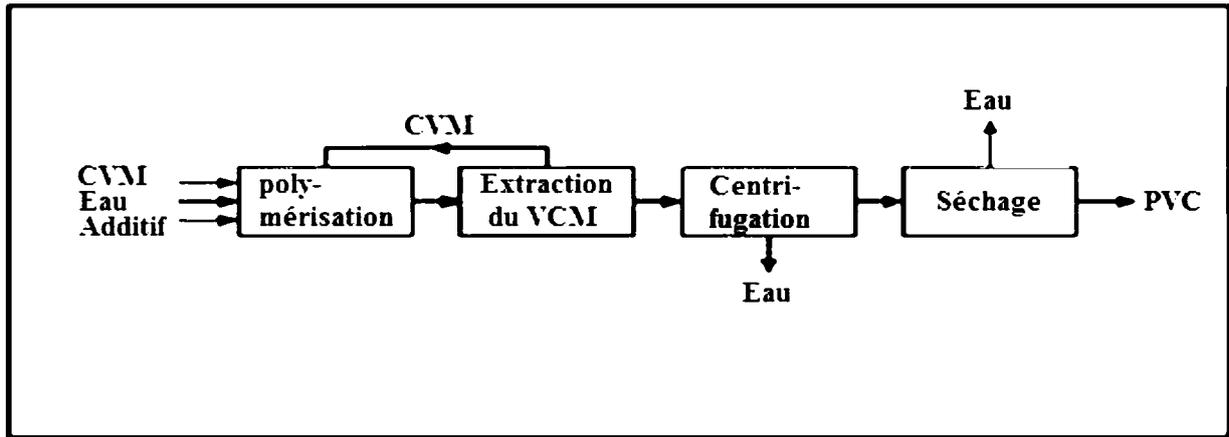


Figure I-6 : Polymérisation en suspension.[6]

I-7-5-2. Polymérisation en émulsion

Le processus de production du PVC comprend six étapes :

1. Extraction du pétrole et du sel ;
2. Production de chlore et d'éthylène ;
3. Synthèse du chlorure de vinyle monomère (MVC) à partir du chlore et de l'éthylène ;
4. Polymérisation (constitution d'une chaîne moléculaire) du chlorure de vinyle en chlorure de polyvinyle (PVC) ;
5. Compound, mélanger du PVC avec toutes sortes d'additifs en vue d'obtenir des variantes aux propriétés diverses ;
6. Transformation du PVC en produit.

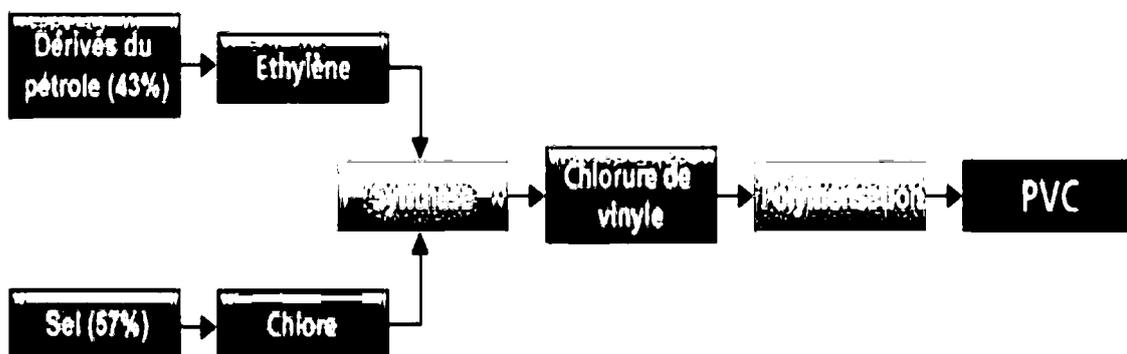


Figure I-7 : polymérisation en émulsion

I-7-6. Production et transformation du polychlorure de vinyle P.V.C

L'utilisation variée du PVC repose sur les propriétés intéressantes du polymère qui peut être fabriqué sur mesure grâce au procédé de transformation et à l'ajout d'additifs. C'est pourquoi il existe une grande quantité de types de PVC aux propriétés diverses. Les propriétés mécaniques du PVC peuvent varier d'une extrême rigidité à une très grande souplesse par l'addition contrôlée de plastifiants. L'ajout de toutes sortes de pigments permet de colorer le PVC.

I-7-6-1. Stabilisants

Les stabilisants primaires les plus fréquents sont des dérivés du plomb, du calcium, de l'étain ou du zinc. Autrefois, on utilisait également le cadmium mais celui-ci a été remplacé en raison de sa toxicité. A l'heure actuelle, on utilise également des stabilisants organiques dans certaines applications. Les Co-stabilisants augmentent encore davantage la stabilité du PVC.

I-7-6-2. Plastifiants

Les plastifiants les plus utilisés dans le PVC sont des esters organiques à haut point d'ébullition comme les phtalates, les adipates et les organophosphates. Ceux qui sont de loin les plus utilisés sont : le DINP (di-iso-nonyl phtalates), le DIDP (di-iso-decyl phtalates) et le DEHP (di-éthylhexyl phtalates), mieux connu sous le nom de DOP (dioctylphtalates). En raison de son application étendue, il s'agit d'une des substances chimiques ayant fait l'objet du plus grand nombre d'études. Les phtalates sont notamment utilisés dans le PVC destiné aux emballages alimentaires et au matériel médical. Les phtalates ne se dégagent du PVC qu'en faible quantité et se désagrègent facilement dans la nature. [6]

I-7-6-3. Pigments

Certains pigments sont toxiques (surtout ceux contenant des métaux lourds) et leur utilisation. Ils ne se dégagent pas du PVC en cas d'utilisation normale ou sous l'action des conditions atmosphériques.

I-7-6-4. Charges

Les charges sont utilisées pour réduire le prix de revient du PVC, augmenter sa résistance au feu et renforcer certaines propriétés physiques. Les charges les plus utilisées sont la craie, le talc et la dolomite. Ces charges ne présentent aucun danger pour la santé et l'environnement.

I-7-6-5. Lubrifiants

Les lubrifiants facilitent la transformation du PVC et contribuent à ce que ce dernier n'adhère pas aux surfaces de contact métalliques des machines. Il s'agit de cires organiques, d'alcolols gras, d'acides gras, d'esters ou de sels métallique. Il ne présentent aucun risque pour la santé et n'interviennent qu'à très faibles concentrations dans le PVC.

I-7-7. Propriétés du PVC

I-7-7-1 Propriétés chimiques

Le PVC sans plastifiant possède une bonne résistance aux produits chimiques :

Acides, bases, huiles, alcools, hydrocarbures, aliphatiques. Par contre il est sensible ou hydrocarbures aromatiques et chlorés. Le PVC souple est beaucoup plus sensible aux agents chimiques.

I-7-7-2 Propriétés électriques

Le PVC a de bonnes propriétés isolantes mais les pertes électriques dans les matériaux sont suffisamment importantes pour permettre le soudage par haute fréquence. [12]

- Le facteur de perte diélectrique a 50HZ et 20 °C et de l'ordre de $15 \cdot 10^{-3}$ (S.I) ;
- La constante diélectrique a 50 HZ et 20 °C et de l'ordre 3.4 (F/m) ;
- La résistivité transversal et de l'ordre de 1016 $\Omega \cdot \text{cm}$.

I-7-7-3- Propriétés thermiques

- Conductivité thermique : elle est d'environ 0.2 w.m.k ;
- Capacité thermique massique elle est d'environ 1046 J.Kg.K ;
- Pouvoir calorifique : elle est de 17 k.J/Kg environ, pour les PVC non plastifié et de valeur supérieur mais variable suivant la formulation pour les PVC plastifiés ;
- Température de ramollissement : la Température de ramollissement pour les PVC non plastifiés se situe entre 65 et 85 °C ;
- Pour des mélanges de PVC et de PVC chlorés, elle peut atteindre des valeurs supérieures à 100 °C ;

Chapitre I : Présentation générale des matériaux polymères

- Température de fléchissement sous charge : elle ne s'applique qu'aux PVC non plastifiés. Elle varie de 55 à 70 °C selon les formulations et peut atteindre 90 °C celles contenant du PVC chloré. [13]

I-7-7-4. Propriétés dimensionnelles

Le pvc présente une bonne stabilité dimensionnelle et un retrait limité du à sa structure amorphe.

I-8. Utilisation des PVC pour le transport d'électricité

I-8-1. Câbles électriques

Au début des années 1960, les câbles à isolation synthétique extrudée ont commencé à concurrencer les câbles à isolation avec du papier imprégné à cause des nombreux avantages indéniables qu'ils présentent. Nous pouvons retenir les plus importants qui sont :

- Leur légèreté qui permet une pose plus facile ;
- La suppression des problèmes de migration des matières d'imprégnation ;
- Une fiabilité équivalente à celle d'une technologie à papier imprégné.

Cependant leur point faible reste leur vieillissement sous champ et en présence d'humidité, conduisant à la formation d'arborescences responsables de la rupture diélectrique de l'isolation.

Dans le cas le plus simple d'un câble unipolaire, quatre parties sont élaborées à partir de polymères, à savoir :

- Les deux écrans semi-conducteurs ;
- L'isolant principal ;
- L'enveloppe extérieure de protection.

Les matériaux les plus couramment utilisés sont le polyéthylène, basse et haute densité (PEBD et PEHD), mais surtout sous sa forme réticulée (XLPE). On trouve également des isolations à base de polychlorure de vinyle (PVC) ou de caoutchouc (EPR, EVA ou EPDM). Le matériau d'isolation doit présenter, outre des spécifications diélectriques (résistivité et rigidité diélectrique élevée, permittivité diélectrique et pertes diélectriques faibles), des caractéristiques liées à son utilisation dans le câble (insensibilité aux chocs, aux vibrations et aux attaques chimiques, résistance au feu et tenue au vieillissement). Ces matériaux ont une fonction bien particulière qui détermine leur utilisation :

Chapitre I : Présentation générale des matériaux polymères

- Le polychlorure de vinyle (PVC) est surtout utilisé dans les câbles BT (Basse Tension) du fait de ses pertes diélectriques. L'ajout d'un plastifiant, pour diminuer la rigidité mécanique et ainsi pouvoir augmenter la souplesse du câble, diminue également les performances d'isolation du PVC.
 - le polyéthylène (PE) est principalement utilisé pour les câbles moyenne et haute tension en raison de ses excellentes propriétés diélectriques. Il existe sous deux formes : le polyéthylène basse densité (PEBD) et le polyéthylène haute densité (PEHD) qui est utilisé dans les réseaux de transport où la tension peut atteindre 500 kV.
 - le polyéthylène réticulé chimiquement (PRC ou XLPE) est obtenu en créant des liaisons chimiques entre les chaînes macromoléculaires, grâce à un agent réticulant (péroxyde de dicumyle), dans le but d'améliorer les caractéristiques thermiques et mécaniques du polyéthylène. La moins bonne pureté du PRC comparée aux PEBD et PEHD a fait qu'il était utilisé majoritairement dans la fabrication des câbles de 90 kV à 275 kV.
 - les caoutchoucs éthylène-propylène tels que l'EPR (Ethylene-Propylene-Rubber), et EPDM (Ethylène-Propylène Diène Monomère) sont des copolymères dont l'avantage principal est la souplesse obtenue. Ils sont employés dans les câbles basse et moyenne tension, et n'offrent qu'une résistance aux attaques chimiques (huile) et une résistance à la propagation des flammes médiocres.
 - les caoutchoucs de silicone sont destinés à la fabrication de câbles spéciaux, par exemple dans la marine ou l'aviation, notamment grâce à leur excellente tenue aux températures extrêmes (de $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $250\text{ }^{\circ}\text{C}$). De plus, leur comportement au feu est remarquable puisque la combustion du câble provoque une transformation en silice qui préserve les propriétés d'isolation du câble.
- [14]

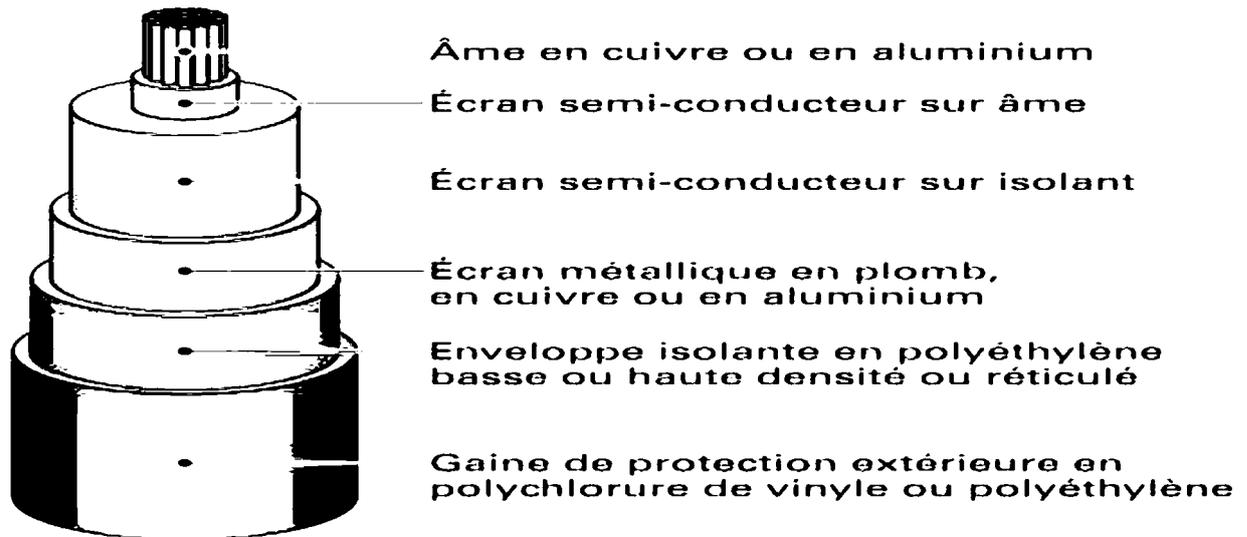


Figure I-8 : Structure d'un câble haute tension. [14]

I-8-2. Avantages et inconvénients du PVC

➤ Les Avantages

Le pvc est un matériau qui offre de multiples avantages :

- Résistant aux intempéries, à l'usure du temps, aux flammes et à la plupart des agents agressifs ;
- Insensible aux variations climatiques (contrairement à l'aluminium ou au bois) ;
- Bon isolant électrique, thermique et phonique ;
- Léger ;
- Malléable, le pvc se plie à toutes les contraintes ;
- Economique (moins cher que l'acier, le bois ou l'aluminium) ;
- Facile à entretenir ;
- Difficilement inflammable ;
- 100% recyclable ;
- sans entretien ;
- antichoc ;
- Transparence et souplesse ;
- Peu coûteux ;
- Collage facile.

➤ Inconvénients

A côté de ses nombreux avantages, le PVC présente quelques inconvénients :

- Toxique en cas d'incendie ou de combustion (contient de l'acide chlorhydrique) ;
- Non biodégradable ;
- Aspect plastique des produits d'imitation (bois, marbre, etc.) ;
- Produit à base de pétrole ;
- Peu écologique : 50% du chlore produit par les incinérateurs provient du PVC. En cas d'incendie, le PVC génère de l'acide chlorhydrique corrosif et surtout des dioxines extrêmement toxiques, rendant la maison de toute manière inhabitable par contamination ;
- Sensible au feu ;
- Faible résistance mécanique par rapport à l'aluminium ou à l'acier (des renforts métalliques sont nécessaires pour rigidifier le profil mais ils dégradent les performances thermiques ;
- Ne résiste pas à la chaleur > 70°C et à la stérilisation par les rayonnements ionisants.

I-9. Dopage des polymères organiques conducteurs

Le dopage chimique ou électrochimique, est un passage d'un état neutre isolé à un état oxydé/réduit conducteur.

Les compositions dont la constante diélectrique est très faible sont essentiellement à base de $MgTiO_3$ ou à base de TiO_2 . Par contre les composites $CaTiO_3$, $SrTiO_3$ et $BaTiO_3$ permet d'atteindre des constantes diélectriques plus élevées,

I-10. Le titanate de Baryum $BaTiO_3$

Le titanate de baryum $BaTiO_3$ est un composite très intéressant, aussi bien d'un point de vue théorique (structure pérovskite simple qui facilite de nombreux calculs et interprétations théoriques) que d'un point de vue pratique (composé chimiquement et mécaniquement stable qui présente des propriétés ferroélectriques et piézoélectriques dans un large domaine de température incluant la température ambiante).

Le titanate de baryum $BaTiO_3$ pur est un isolant électrique, il devient semi-conducteur lorsque il est dopé avec de faibles quantités de métaux, notamment le Scandium (Sc), l'Yttrium (Y), le Samarium (Sm).

Chapitre I : Présentation générale des matériaux polymères

I-10-1. Caractéristiques de BaTiO₃ :

Le tableau I.1 : regroupe quelques caractéristiques de BaTiO₃.

Tableau I.1: Caractéristiques de BaTiO₃. [15]

| Caractéristiques | Valeurs |
|---|---------|
| Densité (g/cm ³) | 6.02 |
| Température de fusion (c°) | 1650 |
| Masse molaire (g/mole) | 233.42 |
| Module d'Young (Gpa) | 67 |
| Dureté (molis) | 5 |
| Constante de déformation piézoélectrique (pC/N) | 78 |

I-10-2. Méthodes de synthèse de BaTiO₃

➤ Réduction à l'état solide

Cette méthode est la plus ancienne et la plus conventionnelle pour synthétiser BaTiO₃.

Le titane de baryum BaTiO₃ est préparé à partir de BaCO₃ et TiO₂ selon le schéma réactionnel suivant :



Après homogénéisation et broyage dans un mortier en porcelaine ou en agate, le mélange BaCO₃ + TiO₂ est calciné soit à 900 °C soit à 1100 °C pendant plusieurs heures dans une capsule en alumine ou en platine.

L'inconvénient majeur de cette méthode traditionnelle est la difficulté de contrôler la taille des grains. [16]

La synthèse de BaTiO₃ par réaction à l'état solide a été récemment améliorée. Elle peut donner des graines ayant des caractéristiques similaires à ceux obtenus par la technique hydrothermale ou sol-gel : la taille moyenne des particules peut atteindre 0.2 µm.

➤ **Méthode hydrothermale**

Cette méthode, dont le dispositif expérimental est la figure I-7, consiste à introduire les réactifs et un solvant dans une bombe de digestion en présence d'eau. La bombe appelée aussi autoclave, est ensuite chauffée pour augmenter la pression dans l'enceinte. [15]

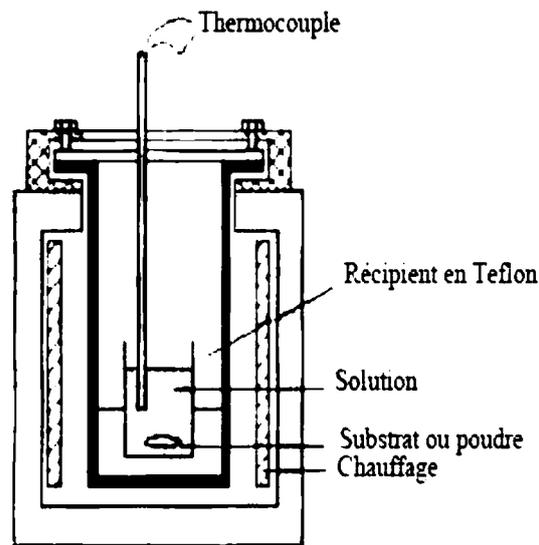


Figure I-9. Dispositif expérimental de la méthode hydrothermale

Cette méthode a trois avantages majeurs :

- L'utilisation de températures inférieures à celles utilisées les méthodes traditionnelles ou sol-gel et un taux de dépôt relativement élevé,
- La possibilité de préparer des composés avec des éléments de degrés d'oxydation non usuels (utilisation de dioxyde de chrome (Cr^{4+}) sur les bandes magnétiques),
- La possibilité de préparer des phases qui sont stabilisées sous pression et à températures élevées.

➤ **Méthode sol-gel**

Le titane de baryum $BaTiO_3$ peut être également synthétisé à basse température par la technique sol-gel, par réaction entre l'acétate de baryum $Ba(CH_3CO_2)_2$ et l'isopropoxide de titane (IV) $Ti(Opr)_4$ qui donne un sol-gel de $BaTiO_3$.

La poudre $BaTiO_3$ est obtenue ensuite par séchage du gel résultant à l'étuve, à une température de $110^\circ C$, puis calcination à $900^\circ C$. [17]

I-10-3. Structure

Le titanate de baryum est certainement le plus étudié des composés ferroélectriques. C'est un bon candidat pour les applications techniques de la ferroélectricité. BaTiO_3 est un composé chimiquement et mécaniquement très stable qui possède des propriétés ferroélectriques dans un domaine de températures incluant la température ambiante, et qui peut être préparé sous forme de monocristaux ou de céramiques. BaTiO_3 fait partie de la famille des pérovskites ABO_3 . Il est ferroélectrique à la température ambiante et jusqu'à la température de Curie T_C , voisine de 134°C dans les cristaux purs, mais qui dépend fortement de la qualité cristalline (elle est voisine de 120°C dans les céramiques). La symétrie de la phase non polaire, stable à haute température est cubique; elle est centrosymétrique et non piézoélectrique.

- **Structure de type pérovskite**

La structure idéale des oxydes de type pérovskite ABO_3 peut être décrite comme étant une maille cubique dont les sommets sont occupés par les cations A, le centre par les cations B et les centres des faces par les anions d'oxygène O (Figure I-8). Cette structure peut être caractérisée également par l'association d'octaèdres BO_6 . [15]

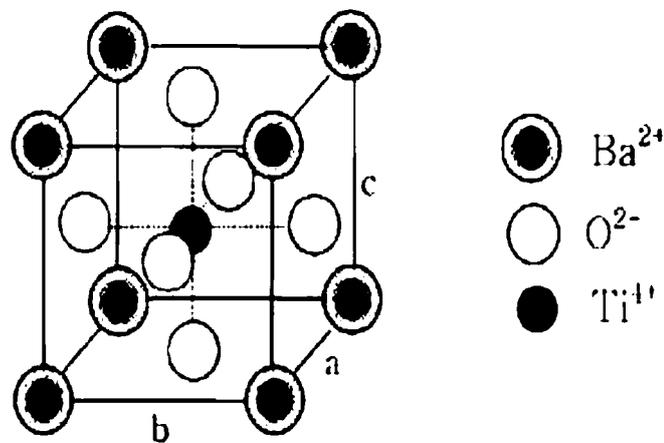


Figure I-10 : Schéma de la maille unitaire de BaTiO_3 .

I-10-4. Influence de la température sur la structure de BaTiO_3

Le titane de baryum BaTiO_3 subit des transformations cristallographiques en fonction de la température (figure I-9).

Ainsi BaTiO_3 présente autour de 183 K , une transition de phase d'une structure rhomboédrique vers une structure orthorhombique. Vers 278 K , il y a passage du système orthorhombique au système quadratique.

Finalement à 393 K, il y a transition de la structure quadratique vers la structure cubique.

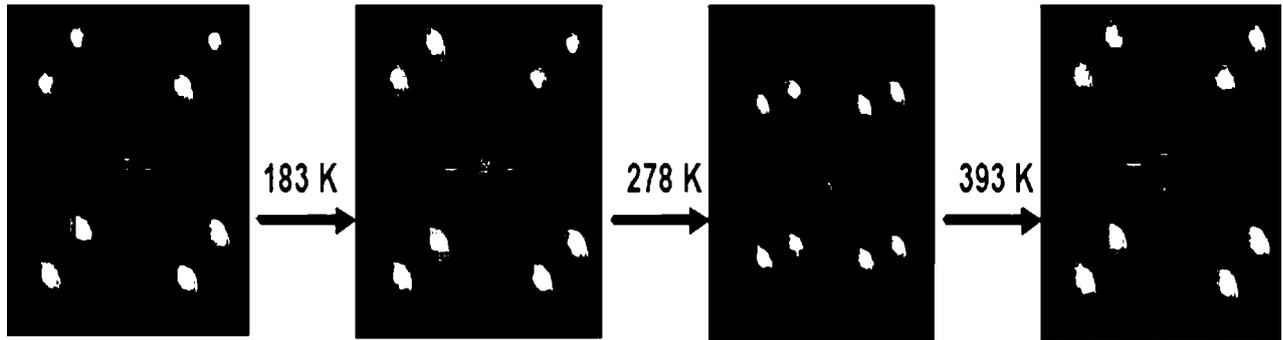


Figure I-11: Transitions de phase de BaTiO₃. [15]

I-11. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons rappelé quelques notions sur les polymères qui sont des isolants solides présentant de bonnes propriétés physico-chimiques qui les rendent plus utilisés dans les domaines de l'industrie. Ensuite on a vu que le PVC et le titanate de baryum BaTiO₃ est une des matières plastiques modernes qui connaît le plus grand succès. Il est utilisé dans notre vie quotidienne pour diverses applications et joue un rôle prépondérant dans la protection de notre santé et dans notre sécurité. Et dans le deuxième chapitre du présent mémoire, nous rappelons sur les diélectriques, et les différents types de polarisation, le phénomène de conduction et le phénomène de relaxation.

CHAPITRE II

II.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons des généralités sur les diélectriques : définition, utilisations et caractéristiques des milieux diélectriques, ensuite, on présentera quelques mécanismes de claquage, les différents phénomènes qui apparaîtront dans les diélectriques (phénomène de polarisation, de conduction et de relaxation).

II.2. Définition d'un diélectrique

Un matériau est diélectrique s'il ne contient pas des charges électriques susceptibles de se déplacer de façon macroscopique. Autrement dit, c'est un milieu qui ne peut pas conduire le courant électrique. A ce titre, on l'appelle parfois isolant électrique. Mais les charges peuvent se déplacer localement et entraîner une variation des charges (polarisation).

Quelques milieux diélectriques solides usuels :

- Le verre, utilisé pour faire des isolateurs de lignes haute tension.
- La céramique, très utilisée pour les matériels HTB des postes électriques.
- La plus part des plastiques.

Le polypropylène, utilisé en particulier dans les condensateurs.

➤ **La différence entre isolant et diélectrique :**

Dans la pratique technologique la différence entre isolant et diélectrique ne découle pas de propriétés différentes mais de l'angle sous lequel est vu le problème. C'est ainsi que lorsque le souci d'empêcher un contact galvanique est important nous parlons d'isolant, par contre notre intérêt est focalisé sur les propriétés découlant de polarisation ou de la permittivité plus ou moins accentuée nous invoquons le terme diélectrique.

Enfin, compte tenu de ce qui vient d'être dit, les mots isolant et diélectrique peuvent être considérés comme des synonymes. [18]

II.3. Utilisations des diélectriques :

Les diélectrique étant de bons isolantes électriques et thermiques, et sont donc utilisées pour gaines les câble électriques afin d'éviter des contacts avec d'autre câble ou des personnes aussi bien que dans les manches des casseroles.

Les diélectriques sont utiles dans les condensateurs. Dans le cas, très simple, du condensateur plan, on peut rapprocher les plaques sans risques de contact ou claquage. On inséré ainsi des

couches de diélectrique dans les condensateurs industriels, ce qui permet d'augmenter la capacité en diminuant l'encombrement.

D'autre part si l'on soumet à un champ électrique suffisamment puissant, toute substance s'ionisera et deviendra conductrice. Les diélectriques étant plutôt difficiles à ioniser, l'air ambiant devient conductrice avant eux : on peut les employer pour des condensateurs à haute tension. [19]

II.4. Caractéristiques des diélectriques

II.4.1. Permittivité relative

La permittivité relative ϵ_r se définit comme le rapport entre la capacité C_x d'un système d'électrodes immergées dans le diélectrique et la capacité C_v de la même configuration d'électrodes dans le vide :

$$\epsilon_r = \frac{C_x}{C_v} \quad (\text{II-1})$$

il s'agit donc d'un nombre sans dimension. La permittivité absolue ϵ est le produit de la permittivité relative ϵ_r par la constante diélectrique du vide ϵ_0 :

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0 \quad (\text{II-2})$$

avec $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{F/m}$

La permittivité relative du vide est donc égale à 1, celle des gaz est très proche mais très légèrement supérieure à 1 (1.00053 pour l'air). Les valeurs très élevées de la permittivité sont surtout rencontrées dans les diélectriques pour condensateurs. [20]

II.4.2. Rigidité diélectrique

La rigidité d'un matériau est la valeur maximale de champ électrique que l'on peut lui appliquer sans que se produise une dégradation irréversible nommée claquage ou perforation diélectrique. Le claquage est précédé par une augmentation importante du courant circulant dans le matériau avec des conséquences thermiques destructives : fusion, évaporation, décomposition, carbonisation,...

En pratique, la rigidité diélectrique est le rapport entre la tension de claquage et la distance entre les électrodes auxquelles cette tension est appliquée dans des conditions d'essai spécifiées.

$$E = \frac{u}{e} \quad (\text{II-3})$$

Avec :
 e (m) : distance entre électrodes ;
 U (v) : tension pour laquelle le claquage se produit ;
 E (v/m) : rigidité diélectrique.

Pour que cela soit tout à fait exact, il conviendrait que le champ soit uniforme, c'est-à-dire que les électrodes soient planes et parallèles avec des bords tels qu'ils ne provoquent en aucun point de renforcement du champ. On se contente de faire souvent d'électrodes dont le rayon de courbure est grand devant la distance inter électrodes.

Divers mécanismes peuvent conduire au claquage. Nous analyserons les principaux mécanismes invoqués actuellement. [21]

II.4.3. La conductivité :

La conductivité électrique σ est un paramètre important pour toutes les applications électrique surtout sous tension continue.

A partir des mesures de constante diélectrique et de l'angle de perte diélectrique, d'autres paramètres électriques peuvent être obtenus. La conductivité est donnée par la relation suivante :[22]

$$\sigma = \omega \tan \delta \varepsilon \varepsilon_0 \quad (\text{II-4})$$

Avec :

σ : La conductivité électrique ;

ω : La pulsation ;

δ : l'angle de perte diélectrique ;

ε : la permittivité diélectrique;

ε_0 : la permittivité du vide

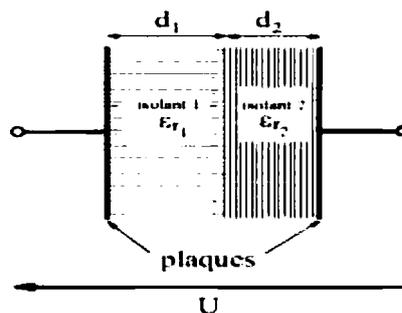
Ce tableau présente la conductivité de quelques polymères

Tableau II.1 : Conductivité de quelques polymères. [23]

| polymère | $\sigma(\Omega.cm)^{-1}$ |
|--|--------------------------|
| Epoxy | 3.10^{-13} |
| Polyamide, Oxyde d'aluminium | 10^{-13} |
| Polyéthylène (bon Isolant) | 10^{-16} |
| Al ₂ O ₃ pure (très bon Isolant) | 10^{-18} |

II.4.4. Champ électrique dans un isolant

Soit un condensateur dont les plaques sont séparées par deux isolants :



On veut calculer les champs E1 et E2 respectivement dans l'isolant 1 et dans l'isolant 2.

On a :

$$\begin{cases} E_1 d_1 + E_2 d_2 = U \\ \epsilon_{r1} E_1 = \epsilon_{r2} E_2 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} E_1 = \frac{U}{d_1 + \frac{\epsilon_{r1}}{\epsilon_{r2}} d_2} \\ E_2 = \frac{U}{\frac{\epsilon_{r2}}{\epsilon_{r1}} d_1 + d_2} \end{cases} \quad (\text{II-5})$$

Application : calcul du champ dans les isolants contenant des inclusions d'impuretés (bulles d'air,...).

I.4.5. Influence de la température

La température conditionne de façon générale l'origine d'organisation moléculaire de la matière, notamment les transitions de phase (évaporation-condensation, fusion-solidification). [24]

Elle en influence fortement les propriétés électriques en contrôlant statiquement le mouvement de particules électrique .

II.4.6. Influence de la fréquence

L'apparition des pertes diélectriques en général peut être expliquée comme suit: aux très basses fréquences, la polarisation suit le champ alternatif, ce qui fait que sa contribution à la constante diélectrique est maximale et les pertes n'apparaissent pas. Aux fréquences très élevées, le champ alterne trop vite pour que la polarisation puisse augmenter et il n'y a aucune contribution à la constante diélectrique – aucune énergie n'est perdue dans le milieu, Mais quelque part entre ces deux extrêmes, la polarisation commence à prendre du retard par rapport au champ électrique d'où dissipation de l'énergie. Le facteur de pertes atteint une valeur maximale à une fréquence f_m , liée au temps de relaxation caractéristique par la relation:

$$\tau = \frac{1}{2\pi f_m} = \frac{1}{\omega_m}$$

La permittivité et la polarisation de relaxation dépendent du temps; on distingue deux états d'équilibre pour chacune de ses caractéristiques. Dans un champ statique, la permittivité diélectrique vaut ϵ_s , et dans les fréquences optiques, elle vaut ϵ_∞ [25].

II .5. Propriétés des diélectriques

II.5.1. Notions sur les diélectriques

Le choix d'une céramique pouvant être appliquée dans le domaine de l'électronique est tributaire de certaines propriétés électriques et diélectriques qui sont :

- Un facteur de dissipation $\text{tg}\delta = \epsilon''/\epsilon'$ faible ;
- Une tension de claquage élevée ;
- Un faible courant de fuite.

a- Courant de charge

Lorsque un condensateur est branché à une source de tension variable ($V(t) = V_0 \exp j \omega t$, $\omega = 2 \pi f$), il emmagasine la charge :

$$Q = C_0 V \tag{II-6}$$

C_0 est la capacité du condensateur à vide, elle est exprimée par la relation :

$$C_0 = \epsilon_0 S/e \tag{II-7}$$

avec :

ϵ_0 : la permittivité du vide.

S : la surface des armatures du condensateur.

e : l'épaisseur de l'échantillon entre les deux armatures.

Le courant de charge est alors :

$$I_c = j\omega C_0 V \tag{II-8}$$

Ce même condensateur, lorsqu'il contient un diélectrique, sa capacité va augmenter, elle devient égale à $\epsilon_r C_0$, ou ϵ_r représente la permittivité relative réelle du diélectrique. Dans ce cas :

$$I_c = j\omega C V \tag{II-9}$$

b- Courant de fuite

Le courant de fuite ou de perte contribue dans le calcul de courant globale I traversant le condensateur. Son expression est donnée par la relation suivante : [26]

$$I_p = G V. \tag{II-10}$$

G est l'inductance ($G = 1/R$), ou R représente la résistance du matériau.

La figure donne la représentation de Fresnel des courants I_p , I_c et I

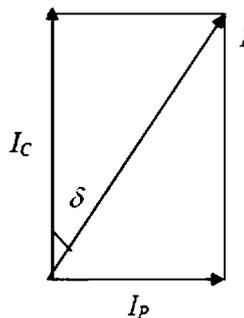


Figure II.1 : Représentation de Fresnel des courants I_p , I_c et I

c- Facteur de dissipation

Le facteur de dissipation ou pertes diélectriques s'exprime par le rapport :

$$\text{tg}\delta = \epsilon''/ \epsilon_r' \tag{II-11}$$

Il convient de noter ici que plus ce facteur est faible, plus on tend vers un condensateur idéal (sans pertes diélectriques). [26]

d- Vieillessement

Le vieillissement d'un matériau se définit comme étant le changement de ses propriétés avec le temps et il peut être provoqué par des sollicitations mécaniques, électriques ou thermiques. Dans les matériaux ferroélectriques, la variation d'une propriété p avec le temps t peut généralement être décrite sur plusieurs décades de temps par la relation suivante :

$$P(t) = p(t_0) + A \ln(t/t_0) \quad (\text{II-12})$$

Où t_0 est le point de départ de la mesure de p

A est une constante qui donne la vitesse de vieillissement, elle peut être positive ou négative.

La relation précédente n'est pas valable indéfiniment, sinon p prendrait une valeur infinie ou nulle. [27]

e - Claquage

Dans les isolants solides : le claquage dans un diélectrique peut provoquer la fusion, brûler ou perforer le diélectrique et les électrodes. Après un claquage sous formes de perforation, de fonte ou de brûlure sur le diélectrique peut rester et donner une forme irrégulière à l'isolant. Si une tension est de nouveau appliquée à cet isolant, un claquage survient dans la majorité des cas, suivant le canal tracé par la décharge précédente et même à une tension inférieure.

Dans les isolant liquide et gazeux : si le claquage survient dans les isolantes liquides ou gazeux, la grande mobilité des particules permet à la trace de disparaître et l'isolant et ainsi régénéré .chaque type de matériaux possède une résistance au claquage (rigidité diélectrique) différentes des autres. La rigidité diélectrique dépende considérablement de :

- La fréquence du réseau : la rigidité diélectrique diminuée avec l'augmentation de la fréquence.
- Température : la rigidité diélectrique diminuant avec l'augmentation de la température.
- Durée d'application de la tension.

➤ **Mécanismes de claquage**

On appelle claquage la perte subite de la propriété isolante d'un diélectrique soumis à un champ électrique intense. La rigidité diélectrique est la valeur maximum du champ auquel peut être soumis un diélectrique, sans apparition d'un claquage.

On distingue généralement le claquage électronique, le claquage thermique et le claquage électromécanique tout en notant que la distinction n'est pas forcément évidente car un claquage électronique conduit toujours à une destruction locale du matériau par fusion thermique et inversement un claquage est principalement la conséquence d'un phénomène d'injection et/ou de conduction de nature électronique.

- **Claquage thermique :**

Les pertes diélectriques de polarisation et de conduction provoquent un dégagement de chaleur dans les isolants. Tant que la quantité de chaleur ainsi produite est supérieure à celle que peut évacuer l'isolant, la température augmente. Avec elle, la conductivité augmente entraînant un accroissement de la chaleur produite par effet joule. [28]

- **Claquage d'origine électronique**

Plusieurs théories ont été proposées. On distingue le claquage intrinsèque, le claquage par avalanche.

- **Claquage intrinsèque**

Lorsque le champ électrique est appliqué à un matériau de telle manière que sa température reste pratiquement inchangée en maintenant ce champ pendant une courte durée et en utilisant des électrodes permettant l'évacuation de la chaleur, on peut assister à un claquage brutal qui n'est pas précédé par une augmentation progressive de la température. [28]

- **Claquage associé au volume libre**

Les électrons peuvent acquérir suffisamment d'énergie avec le champ électrique en traversant le volume libre causer la rupture diélectrique. La théorie s'applique aux polymères purement amorphes et permet de calculer la plus grande distance parcourue par les électrons qui ont provoqué le claquage. [28]

- **Claquage par avalanche**

La condition nécessaire mais non suffisante pour que ce type de claquage se produise est la présence dans la matière isolante d'électrons de conduction pouvant être accélérés pour atteindre l'énergie d'ionisation des atomes. Coelho et Aladenize donnent une explication du processus : lors de la collision ionisante avec un atome du matériau, l'électron incident peut céder à l'atome assez d'énergie pour l'ioniser sans être piégé. L'atome se charge positivement en libérant un électron, de sorte qu'on a alors deux électrons libres qui peuvent acquérir avec le

champ assez d'énergie pour provoquer chacun une nouvelle collision ionisante donc deux électrons.

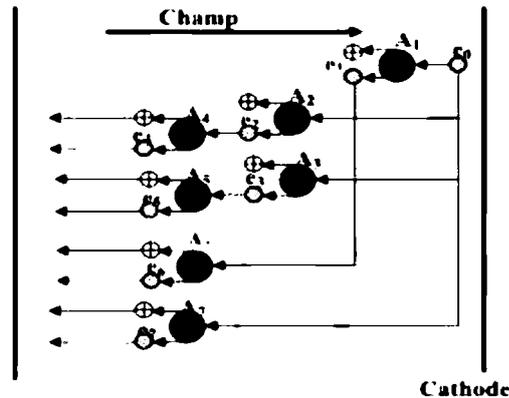


Figure II.2 : Schéma descriptif de l'avalanche. [29]

Pour produire une avalanche, il faut qu'un nombre suffisant d'électrons soit produit. Chaque ionisation produit 2 électrons, une avalanche de m génération donne 2^m électrons. Fournie a montré que la destruction du matériau par avalanche électronique.

- Claquage électromécanique

Garton et Stark explique le mécanisme de claquage électromécanique qui est dû à l'effort électrostatique qui tend à rapprocher deux électrodes entre lesquelles est appliquée une différence de potentiel. Cette effort comprime l'isolant solide placé entre les deux électrodes et provoque une diminution de son épaisseur. [28]

II-6. Phénomène de polarisations :

Les pertes diélectriques sont dues aux mouvements des porteurs de charges. L'effet de ces mouvement est appelé polarisation induite. L'effet de la polarisation diélectrique avait été découvert par Michael Faraday en 1837.

On distingue plusieurs types de polarisation : électronique, ionique, dipolaire, celles-ci peuvent coexister ou apparaître séparément. La polarisation élastique (ou de résonance) et la polarisation de relaxation. La polarisation totale est la somme des différents types de polarisation. [30]

II-6-1. Différents type de polarisations

a - Notion de la polarisation

La plupart des matériaux ferroélectriques sont fabriqués sous forme de céramiques polycristallins mais il est possible d'obtenir ces matériaux sous forme de monocristaux, qui sont par ailleurs extrêmement fragiles. Les céramiques polycristallines ferroélectriques sont formées de grains et de joints de grains. Pour des raisons énergétiques chaque grain est divisé en domaines au sein desquels les dipôles sont orientés dans la même direction.

Deux domaines adjacents possèdent des directions de polarisation différentes définies par la symétrie cristalline et sont séparés par une frontière appelée « mur de domaine ». Cette zone de transition ne détruit pas la cohérence du réseau cristallin. Sous sollicitation électrique, les murs de domaines se déplacent et leur mouvement est responsable de certaines pertes dans la céramique. Cependant il existe des compositions (matériaux dopés) pour lesquelles les murs de domaines sont moins mobiles. [31].

b - Mécanismes de polarisation

Il y a 4 types de polarisation qui contribuent à la variation de la permittivité diélectrique et le facteur de perte d'un matériau :

- **Une contribution électronique P_e** : qui se produit lorsque la fréquence f est inférieure 10^{15} Hz (UV visible), elle est engendrée par mouvements des électrons de valence par rapport aux noyaux sous l'influence d'un champ électrique E :

$$P_e = \alpha_e E$$

Où α_e est la polarisabilité électrique.

- **Une contribution ionique P_i** : elle est due aux déplacements des cations ou des anions les uns par rapport aux autres. Cette polarisation apparaît quand $f \leq 10^{12}$ à 10^{13} Hz :

$$P_i = \alpha_i E$$

Où α_i est la polarisabilité ionique.

- **Une contribution dipolaire P_d** : ce mécanisme a lieu à $f \leq 10^{12}$ Hz, elle provient des perturbations des dipôles ioniques ou moléculaires :

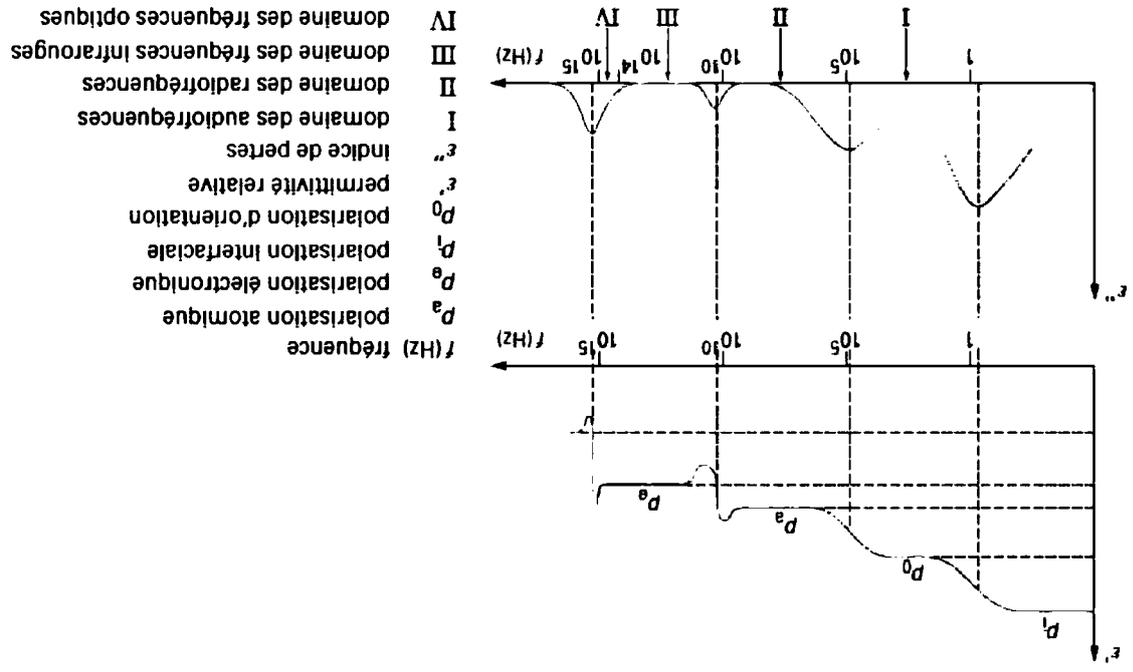
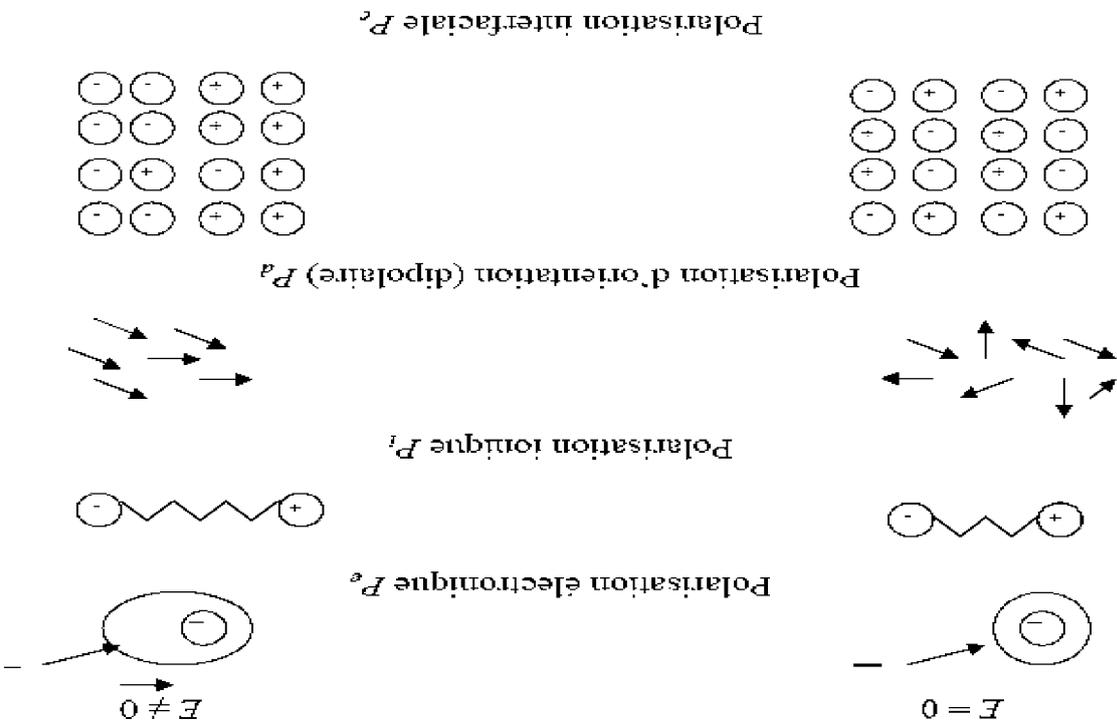
$$P_d = \alpha_d E$$

Où α_d est la polarisabilité dipolaire.

- **Une contribution interfaciale P_c** : elle est due à l'accumulation des charges mobiles à la surface du matériau, car le mouvement de ces derniers est arrêté par des barrières physique

(?interface, les joints de grains...). Dans ce cas, le domaine de f se situe entre 10^{-3} et 10^3 Hz (ondes radio).

Cette figure schématise les 4 mécanismes de polarisation



II-7. Phénomène de conduction de charges dans les polymères :

Toute charge électrique entraînée dans un mouvement ordonné par un champ électrique constitue ce que nous appelons la conduction électrique. Les charges électriques susceptibles de donner ainsi naissance à un courant électrique sont des ions ou des électrons. [04]

II-8. La différence entre la polarisation et la conduction :

Durant la polarisation, les charges sont mises en mouvement mais ne peuvent jamais quitter la molécule. Par contre, la conduction est le déplacement des charges sur de grandes distances, qui se libèrent et quittent les particules.

1- La conduction dans les diélectriques est pratiquement assurée par les impuretés se trouvant dans l'isolant et non pas due à sa structure de base. La polarisation peut donc être représentée comme un grand nombre de charges se déplaçant sur de très petites distances, sans jamais quitter les molécules. Tandis que la conduction dans les diélectriques comme le déplacement d'une petite quantité de charges mais sur de larges distances.

2- La polarisation peut être considérée comme un mouvement élastique. Quand l'effet du champ électrique externe disparaît. Les charges reviennent à leur position initiale, ce qui ne se passe jamais pour la conduction.

3- Tandis que la conduction se produit tant que la tension continue est appliquée, la polarisation ne se produit que lors de l'application ou de la suppression de la tension. La polarisation, et donc le courant capacitif, ne subsistent que lorsqu'il s'agit d'une tension alternative.

II-9. La relaxation**II-9-1. Définition**

La relaxation peut se résumer par un phénomène général qui consiste en l'existence d'un délai de réponse pour un système soumis à une relaxation extérieure. Il y a relaxation diélectrique lorsqu'on supprime brusquement le champ électrique qui polarisait un matériau. Un temps, dit temps de relaxation, est nécessaire pour que le matériau retourne dans son état de désordre moléculaire de départ. Il est défini comme le temps nécessaire pour que la polarisation décroisse à $1/e$ de sa valeur initiale.

Une molécule dipolaire placée dans un champ alternatif peut effectuer un mouvement rotatoire. En réalité, ce phénomène s'accompagne du phénomène de relaxation. Il s'agit d'un déphasage entre les variations du champ et la rotation du dipôle. [33]

Le champ appliqué a pour équation

$$E = E_0 e^{-j\omega t} \quad (\text{II-13})$$

Où E_0 est l'amplitude du potentiel et ω la fréquence angulaire (exprimée en radian/seconde). La polarisation qui résulte de ce champ, déphasée de δ par rapport à celui-ci, vaut

$$P = P_0 e^{-j(\omega t - \delta)} \quad (\text{II-14})$$

II-9-2. Origines de la relaxation diélectrique :

Plusieurs mécanismes ont été reportés dans la littérature comme étant à l'origine du phénomène de relaxation diélectrique, nous allons en présenter ici quelques-uns qui seront rediscutés dans ce manuscrit : [33]

- La conduction par saut
- La polarisation d'électrode
- Relaxation interfaciale

II-9.3. Phénomène de la relaxation diélectrique dans les polymères:

Dans les polymères, des écarts très significatifs par rapport à ces descriptions simplifiées doivent être pris en compte.

Dans les matériaux polymères, de nombreuses molécules de taille variée sont présentes (CH_3 , $\text{C}=\text{O}$, chaînes, terminaisons de chaîne, ect). Elles possèdent un moment dipolaire et peuvent donc être à l'origine de phénomène de relaxation diélectrique. Les relaxations multiples observées lors d'une analyse en fréquence et/ou en température peuvent être corrélées avec les structures moléculaires selon lesquelles les polymères sont classés : amorphe, semi-cristallin et cristallin. Ces relaxations apparaissent sous la forme de pics dans les réseaux de courbes isofréquences ou isothermes caractérisant les pertes diélectriques du matériau. [32]

Généralement, les relaxations multiples sont désignées par les lettres α, β et γ pour les courbes isofréquences dans le sens des températures décroissantes (figure II-4).

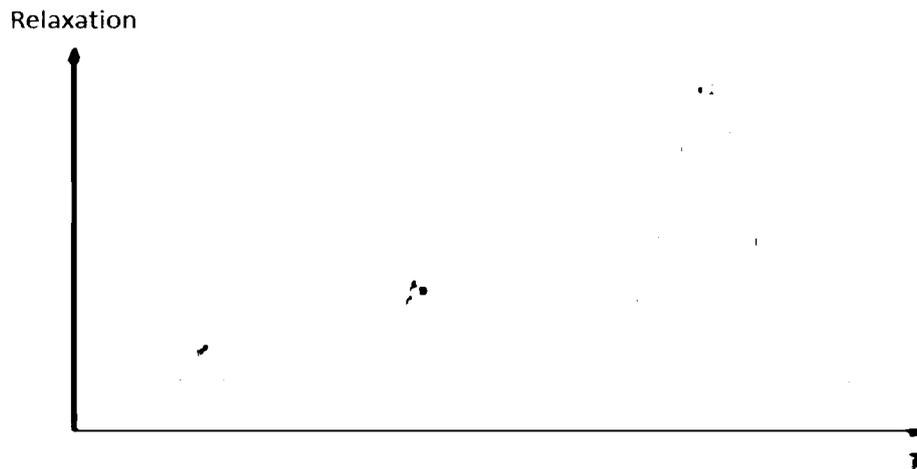


Figure II.4 : Relaxation diélectriques multiples dans un polymère en fonction de la température. [32]

II-9-3-1. Relaxation dans les polymères amorphes :

Dans le cas des polymères amorphes le pic de relaxation α est associé à la transition vitreuse du matériau. Ce pic peut se trouver décalé par rapport à la température de transition vitreuse T_g selon la fréquence d'observation. Le pic de relaxation β est attribué à des mouvements locaux de segments de chaîne en particulier des chaînes dites « pendantes », des réarrangements conformationnels ou des rotations de groupements phényles. Les spectres de relaxation diélectrique permettent de déterminer des mouvements de chaîne en les comparant à différentes températures et fréquences. Ils permettent aussi, dans certains cas, de déterminer certaines caractéristiques telles que la température de transition vitreuse T_g en corrélation avec des analyses enhalpiques différentielles (DSC). [32] [04]

II-9-3-2. Relaxation dans les polymères semi-cristallins :

Les polymères semi-cristallins sont en général plus compliqués car les régions cristallines et amorphes participent aux phénomènes de relaxation. L'un des polymères semi-cristallins les plus étudiés est le polyéthylène (PE) pour son intérêt en tant qu'isolation électrique des câbles de transport d'énergie. Il existe principalement sous deux formes :

Le LDPE (Low Density Poly Ethylene) et le HDPE (High Density Poly Ethylene) dont la cristallinité peut atteindre respectivement 60 % et 75 %. (la figure II-8) représente le facteur de pertes diélectriques en fonction de la température de ces deux formes de polyéthylène. Le pic α (haute température) est plus important dans le cas du HDPE et est attribué à la phase cristalline. Le second pic β est associé à la température de transition vitreuse T_g . Le pic γ est attribué aux

mouvements de rotation de groupements chimiques de faible dimension dans la phase amorphe. [32]

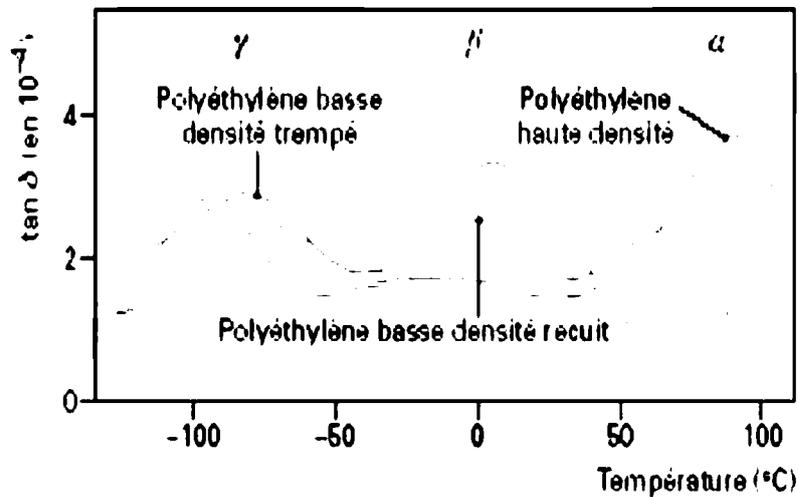


Figure II.5 : Evolution du facteur de pertes diélectriques du polyéthylène en fonction de la température à 10 KHz. [32]

II-10. Variation du temps de relaxation en fonction de la température :

La dépendance en température des temps de relaxation est généralement étudiée par le biais du diagramme d'Arrhenius. Il est obtenu en traçant la variation de τ dans une échelle semi-logarithmique en fonction de l'inverse de la température ($\text{Log}(\tau) = f\left(\frac{1}{T}\right)$). [33]

II-11. Conclusion

Un bon isolant ne devrait pas laisser passer de courant lorsqu'il est soumis à une tension, autrement dit, sa résistance en CC doit être infiniment grande. Cependant, un courant de fuite faible circule dans tous les matériaux isolants.

Plusieurs phénomènes apparaissent dans le diélectrique comme le phénomène de polarisation, de relaxation et le phénomène de conduction.

CHAPITRE III

III-1. Introduction :

Ce chapitre a pour but étudier les propriétés diélectriques sur nos échantillon Pour cela nous avons mesuré ces paramètres diélectrique en fonction de la fréquence, ainsi que la variation de la permittivité $\epsilon' = F(f)$, indice de perte $\epsilon'' = F(f)$ et le facteur de dissipation $D = F(f)$.

Pour mesurer les propriétés diélectriques du PVC avec BaTiO₃ et obtenue les caractéristiques des paramètres de mesure précédents on a utilisé un analyseur d'impédance (on a effectué les mesure dans le bloc de recherche de l'université Farhat ABBAS Sétif).

A la fin de ce chapitre on interprétera les courbes des résultantes de nos expériences.

III-2. Préparation des films de PVC :

Le PVC utilisée pour ces films est sous forme de poudre blanche de type (4000M) qui a les propriétés suivantes :

- La viscosité inhérente 0.903.
- Le pourcentage des volatiles est de 12±1 %.
- La valeur K : 66.2.

Mais pour que le PVC soit utilisable dans l'isolation des câbles il lui faut des adjuvants avec certains poids spécifiques comme suit pour **100 g** de PVC pure en ajoute :

- **33g** de DOP (Di-Octyle Phthalate) qui est un plastifiant d'une structure cristalline de formule suivante : C₂₄H₃₃O₄.
- **2.5g** de Bariume-Zinc stabiliser qui est un stabilisant complexe avec une bonne stabilité thermique.
- **0.25g** de lubrifiant (Acide stéarique).

On mélange tous ces composants et on obtient 135.75g, on prélève 80g et on considère cette masse autant que 100% de PVC.

Pour obtenir les films désirés à notre expérience on a ajouté des différents pourcentages de BaTiO₃ comme montre la relation suivante :

$$\left. \begin{array}{l} 100 (\%) \longrightarrow 80(g) \\ B (\%) \longrightarrow X (g) \end{array} \right\} \Longrightarrow X(g) = \frac{B \times 80}{100} \tag{III-1}$$

Tel que :

B (%) : est le pourcentage de BaTiO_3 a ajouté

X(g) : le poids de BaTiO_3 a ajouté

- ❖ 100% de PVC et 0% de BaTiO_3 ce qui correspond a 80g de PVC et 0g de BaTiO_3 .
- ❖ 98% de PVC et 2% de BaTiO_3 ce qui correspond a 78.4g de PVC et 1.6g de BaTiO_3 .
- ❖ 96% de PVC et 4% de BaTiO_3 ce qui correspond a 76.8g de PVC et 3.2g de BaTiO_3 .
- ❖ 94% de PVC et 6% de BaTiO_3 ce qui correspond a 75.2g de PVC et 4.8g de BaTiO_3 .
- ❖ 92% de PVC et 8% de BaTiO_3 ce qui correspond a 73.6g de PVC et 6.4g de BaTiO_3 .
- ❖ 90% de PVC et 10% de BaTiO_3 ce qui correspond a 72g de PVC et 8g de BaTiO_3 .

Ces Cinq mélanges seront préparés à l'aide d'un mélangeur à deux cylindres tournant à une température de 165°C pendant une durée à peu près 7 minutes.

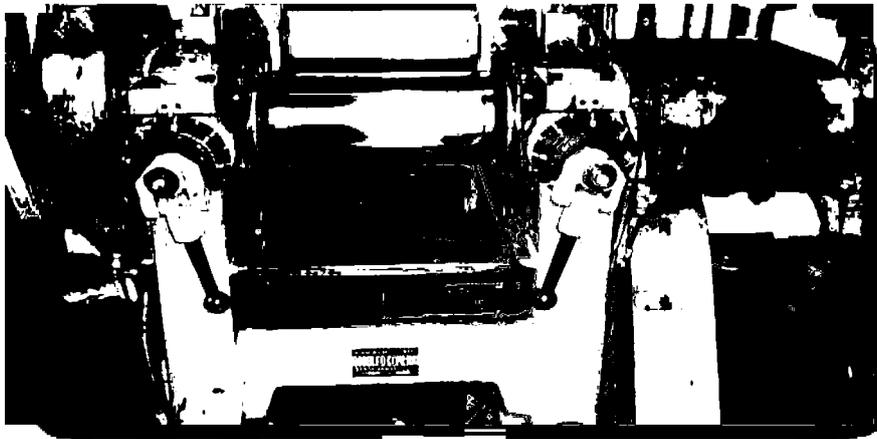


Figure II.1 : mélangeur a 2 cylindres (Rodolfo Comercio) 1977.

A la fin de cette opération on a obtenue des films d'une épaisseur de 0.2 mm. La couleur blanche des films est due à la couleur du BaTiO_3 , sinon la couleur des films du PVC vierge est transparente.



Figure III.2: films de PVC vierge et avec BaTiO_3

III-3. Presse pour augmenter l'épaisseur de PVC

Après avoir eu les films, on remarque que leurs épaisseur est trop petite ($<1\text{mm}$), donc on a essayé d'augmenter cette épaisseur ($>1\text{mm}$) en utilisant une presse ; sa pression allant jusqu'à 250 bar et sous une température de 160°C pendant 7 min. L'idée c'est de régler l'espace entre ces deux plaques $>1\text{mm}$ pour avoir à la fin une épaisseur importante.

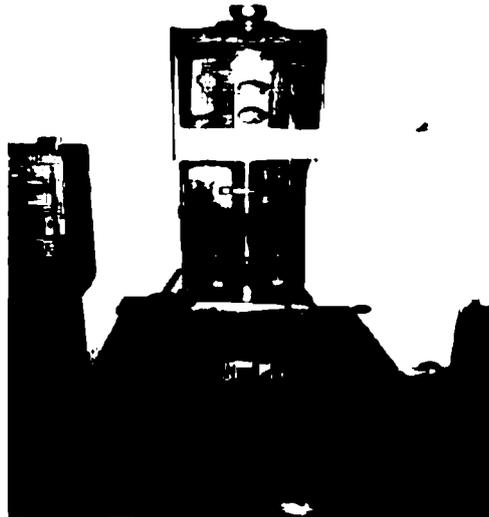


Figure III.3: Presse pour augmenter l'épaisseur de PVC

III.4 Partie mathématique

III.4.1 Circuit équivalent d'un diélectrique

A - Parallèle :

Dans un diélectrique imparfait, la polarisation est due à des mécanismes de déformation de la répartition des charges électriques sous l'influence du champ électrique. Dans un champ électrique alternatif, cette polarisation ne suit pas le champ d'une façon instantanée. Cette relaxation diélectrique induit une perte d'énergie. Un tel condensateur est équivalent à un circuit comportant une résistance en parallèle avec une capacité.

Le courant alternatif complexe I résultant de l'application de la tension alternative U aux bornes d'un condensateur plan rempli de diélectrique s'écrit :

$$I = I_c + I_p \quad (\text{III-2})$$

Avec

I_c : courant de charge.

I_p : courant de pertes d'énergie dans le diélectrique (dus à la polarisation).

Les courants I_c et I_p sont donnés par les relations suivantes :

$$I_c = j\omega C_s U \tag{III-3}$$

Et $I_p = U/R$ (III-4)

Avec

ω : pulsation du courant alternatif.

C_s : capacité d'un condensateur parfait.

R : résistance du diélectrique réel.

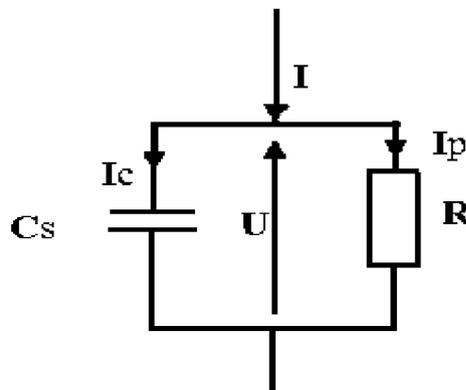


Figure III.4 : Circuit équivalent d'un diélectrique en parallèle.[34]

L'impédance de cet circuit est : $(1/Z) = (1/R) + jC\omega$

B -Série :

Il existe une deuxième configuration où un isolant peut être modélisé par un schéma équivalent série (figure III.5).

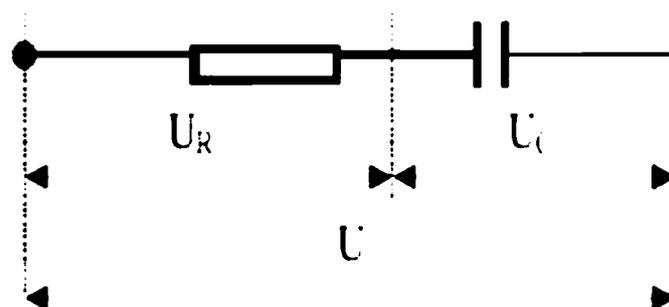


Figure III.5 : Circuit équivalent d'un diélectrique en série. [34]

L'impédance de cet circuit est : $Z = R_s - j 1/C_s\omega$ (III-5)

Les relations entre les composantes du circuit série et parallèle sont :

$$C_s = C (1 + \operatorname{tg}^2 \delta) \quad (\text{III-6})$$

$$R_s = R / (1 + 1/\operatorname{tg}^2 \delta) \quad (\text{III-7})$$

- Type de circuit diélectrique utilisé en pratique

Dans notre étude nous avons travaillé sur un circuit diélectrique parallèle.

III.4.2 Calcul de la permittivité

Soit un condensateur plan à vide (ou à air) :

Sa capacité est :

$$c_0 = \epsilon_0 \frac{S}{e} \quad (\text{III-8})$$

Où $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ F/m est la permittivité absolue du vide (ou de l'aire).

Si le même condensateur est rempli par un isolant, sa capacité devient :

$$c = \epsilon_r c_0 = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{S}{e} \quad (\text{III-9})$$

La permittivité relative définie par le rapport :

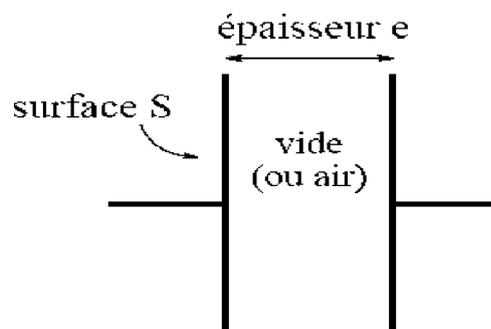
$$\epsilon_r = \frac{c}{c_0} \quad (\text{III-10})$$

La permittivité absolue est :

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0 \quad (\text{III-11})$$

Pour l'aire, les gaz et le vide, $\epsilon_r = 1$. Donc $\epsilon = \epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ F/m.

Pour tous les autres isolants, $\epsilon_r > 1$



- L'expression de la permittivité relative définie par :

$$\varepsilon_r = \varepsilon' - j \varepsilon'' \quad (\text{III-12})$$

- L'expression de la constante diélectrique ε' :

$$\varepsilon' = \frac{C_p d}{\varepsilon_0 S} \quad (\text{III-13})$$

- L'expression de facteur des pertes $\varepsilon\varepsilon''$:

$$\varepsilon'' = \frac{d}{R_p \varepsilon_0 S w} \quad (\text{III-14})$$

III.4.3 Calcul de la capacitance

$$C_p = \varepsilon' (w) C_0 \quad (\text{III-15})$$

III.4.4 Calcul de la résistance

$$\frac{1}{R_p} = \varepsilon'' C_0 \omega \implies R_p = 1 / \varepsilon'' C_0 \omega \quad (\text{III-16})$$

III.4.5 Calcul de facteur de dissipation

L'angle de pertes δ est défini comme étant l'angle complémentaire du déphasage entre le courant de charge I_c entre les conducteurs et le courant de fuite I_p traversant l'isolant :

On a :

Le facteur de dissipation (ou pertes diélectriques) $\text{tg}\delta$ est par définition le rapport entre I_p et I_c :

$$\text{tg}\delta = |I_p| / |I_c|.$$

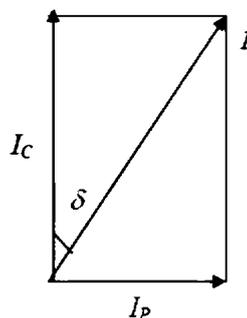


Figure III.6 : Le déphasage entre I_p et I_c

Dans le cas d'une source de courant variable, la permittivité relative ε_r peut s'écrire sous forme complexe :

$$\varepsilon_r = \varepsilon''_r - j\varepsilon'_r$$

ϵ'_r = la permittivité relative réelle.

ϵ''_r = la permittivité relative imaginaire.

Le facteur de dissipation ou pertes diélectriques s'exprime ainsi par le rapport :

$$\operatorname{tg} \delta = \epsilon''_r / \epsilon'_r \quad (\text{III-17})$$

Il convient de noter ici que plus ce facteur est faible, plus on tend vers un condensateur idéal (sans pertes diélectriques).

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\epsilon''_r}{\epsilon'_r} = 1/\omega C_p R \quad (\text{pour circuit parallèle}) \quad (\text{III-18})$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\epsilon''_r}{\epsilon'_r} = \frac{C_s U \omega}{\frac{U}{R_s}} = \omega C_s R_s \quad (\text{pour circuit série}) \quad (\text{III-19})$$

La valeur $\tan \delta$ est appelée facteur de dissipation diélectrique.

L'angle de pertes caractérise la qualité d'un isolant :

- Bon isolant \longrightarrow résistance d'isolement R élevée δ faible ;
- Mauvais isolant \longrightarrow R faible δ faible.

III.4.6 Calcul des pertes

Pour une tension appliquée continue, la polarisation ne se produit que durant le régime transitoire, en régime permanent :

$$I_f = U/R_i$$

Alors les pertes deviennent :

$$\Delta P = (I_f)^2 R_i = U^2/R_i \quad (\text{III-20})$$

En générale (en continu) ΔP reste très faible sauf si l'échantillon contient des impuretés ou l'humidité.

Les pertes diélectriques sous tension alternative

$$I_R = U/R \quad \text{et} \quad I_C = \omega C U$$

On a

$$\operatorname{tg} \delta = I_R/I_C = 1/\omega C R$$

Alors

$$\Delta P = U I \cos \varphi = U I_R$$

$$\text{Ou} \quad \Delta P = U I_C \operatorname{tg} \delta = \omega C U^2 \operatorname{tg} \delta \quad [\text{W/ cm}] \quad (\text{III-21})$$

III.4.7 Calcul de courant diélectrique

$$I_{\text{diél}} = I_f + I_a + I_d \quad (\text{III-22})$$

Avec

$$I_p = I_d + I_a$$

I_a : due à la polarisation d'orientation.

I_d : due au déplacement.

Pour quelque instant de mesure le courant du diélectrique est égal à :

$$I_{\text{diél}} = I_p + I_f \quad (\text{III-23})$$

Pour le temps de mesure tendant vers l'infinie le courant de diélectrique est égale au courant de fuite alors :

$$I_{\text{diél}} = I_f \quad (\text{III-24})$$

Donc

$$I_p = I_{\text{diél}} - I_f \quad (\text{III-25})$$

III-5. Appareils de mesure :

- Techniques de mesures :

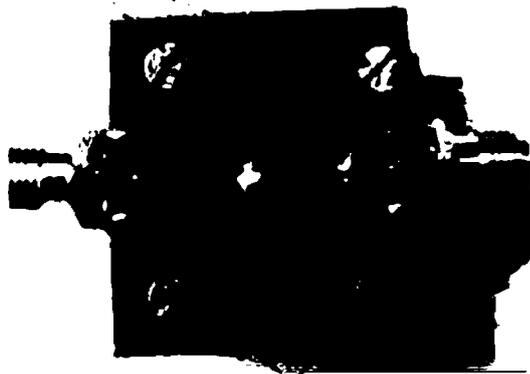
Pour effectuer les mesures des caractéristiques diélectriques d'un matériau, l'échantillon est inséré entre deux électrodes planes en cuivre. Ce qui permettait d'éviter l'effet de la conduction surfacique. Le potentiel appliqué était de 2V. La capacité (CP) et le facteur de Dissipation (D) étaient mesurés dans une gamme de fréquences 20Hz-1MHz. En utilisant un analyseur d'impédance. L'analyseur d'impédance de précision fournit précis et essayant rapidement de composants aux fréquences jusqu'à 1MHz. La précision fondamentale de mesure est $\pm 0.05\%$ faire les instruments le meilleur dans la classe. La précision et la variété font les analyseurs de précision le choix idéal pour beaucoup de taches différentes et application y compris la conception de passive, la caractérisation matérielle diélectrique et le test industriel.



Figure III.7 : Analyseur d'impédance (WAYNE KERR 6420).

➤ L'image de condensateur

Fixations



Connecteurs

➤ Les étapes de mesure

- Commencer par la page principale MAIN MENU
- Aller à graphe Choisi la fréquence qui varie entre 20HZ et 1MHZ.
- Level : tension appliquée varie entre [1-2] V.
- Step size : 1, 2, 4,8 choisir le pas.
- Choisir le paramètre à mesurer : D, Cp, Cs, Z, Rs, Rp, G, θ , Y, L, X, B, Q
- Faire Start
- Une fois il trace la courbe
- Fonction – Fit
- Faire marcher le curseur Pour prendre point par point et on trace la courbe

III.6. Paramètres à mesuré

- La Capacitance (C).
- l'Inductance (L).
- la Résistance (R).
- la Réactance (X).
- La Conductance (G).
- Susceptance (B).
- le Facteur de Dissipation (D).
- Le Facteur de Qualité (Q).
- l'Impédance (Z).
- l'Admittance (Y).
- L'Angle de Phase (δ).

Le principe de la mesure consiste à suivre en fonction de la fréquence les variations de la capacité C_p et la résistance R_p et des pertes diélectriques, $\text{tg } \delta$.

Nous avons préféré cette méthode pour tracer des diagrammes d'impédance ou d'admittance complexe. En effet, on peut distinguer le domaine de fréquence où apparaissent les phénomènes de polarisation diélectrique et de conductivité spécifique propre à l'électrolyte.

Après les mesures de La capacité (CP) et le facteur de Dissipation (D), on a déterminé les résultats des propriétés diélectriques.

III.7. Résultats et discussion :**➤ Etape 1 : Pvc vierge**

Epaisseur de condensateur : 3.4 mm

Surface de condensateur : 1.755 mm²

| F(HZ) | D | Cp(PF) | ϵ' | ϵ'' | R(GΩ) | Z(MΩ) | θ (°) | Wd(W) |
|---------|--------|--------|-------------|--------------|---------|---------|--------------|----------|
| 20 | 0,27 | 3,38 | 7,35E-02 | 1,98E-02 | 4,51 | 908 | -77,58 | 6,23E-09 |
| 25 | 0,258 | 8,09 | 1,76E-01 | 4,54E-02 | 4,33 | 777,72 | -79,063 | 7,46E-09 |
| 30 | 0,244 | 9,75 | 2,12E-01 | 5,18E-02 | 4,16 | 679,48 | -80,46 | 8,45E-09 |
| 45 | 0,23 | 9,50 | 2,07E-01 | 4,75E-02 | 3,34 | 501,8 | -83,725 | 1,20E-08 |
| 50 | 0,222 | 9,49 | 2,07E-01 | 4,58E-02 | 3,05 | 463,3 | -83,909 | 1,26E-08 |
| 62 | 0,183 | 9,30 | 2,02E-01 | 3,70E-02 | 2,43 | 373,77 | -82,787 | 1,30E-08 |
| 73 | 0,169 | 9,20 | 2,00E-01 | 3,38E-02 | 2,3 | 323,51 | -82,448 | 1,44E-08 |
| 85 | 0,167 | 9,12 | 1,98E-01 | 3,31E-02 | 2,209 | 285,8 | -82,193 | 1,63E-08 |
| 92 | 0,164 | 9,08 | 1,98E-01 | 3,24E-02 | 2,21 | 266,73 | -82,188 | 1,75E-08 |
| 120 | 0,148 | 8,92 | 1,94E-01 | 2,87E-02 | 2,21 | 209,49 | -82,175 | 2,07E-08 |
| 139 | 0,137 | 8,88 | 1,93E-01 | 2,65E-02 | 1,97 | 186,31 | -82,411 | 2,20E-08 |
| 190 | 0,117 | 8,68 | 1,89E-01 | 2,21E-02 | 1,39 | 137,23 | -83,273 | 2,57E-08 |
| 285 | 0,08 | 8,18 | 1,78E-01 | 1,42E-02 | 1,11 | 100,91 | -85,392 | 2,63E-08 |
| 312 | 0,065 | 7,91 | 1,72E-01 | 1,12E-02 | 1,28 | 97,57 | -85,868 | 2,35E-08 |
| 360 | 0,057 | 7,38 | 1,61E-01 | 9,15E-03 | 1,52 | 92,576 | -86,581 | 2,36E-08 |
| 410 | 0,0522 | 8,03 | 1,75E-01 | 9,12E-03 | 1,28 | 76,00 | -86,649 | 2,47E-08 |
| 562 | 0,0642 | 8,80 | 1,92E-01 | 1,23E-02 | 0,775 | 46,89 | -86,23 | 4,17E-08 |
| 705 | 0,0887 | 7,74 | 1,68E-01 | 1,49E-02 | 472,61 | 39,55 | -84,897 | 7,21E-08 |
| 843 | 0,0958 | 7,46 | 1,62E-01 | 1,56E-02 | 0,37104 | 34,16 | -84,88 | 9,33E-08 |
| 1105 | 0,0999 | 7,30 | 1,59E-01 | 1,59E-02 | 0,302 | 26,65 | --84,166 | 1,28E-07 |
| 10068 | 0,105 | 6,89 | 1,50E-01 | 1,57E-02 | 0,03294 | 3,43 | -83,853 | 1,22E-06 |
| 24800 | 0,1051 | 6,66 | 1,45E-01 | 1,52E-02 | 0,01514 | 1,48 | -83,971 | 3,01E-06 |
| 96000 | 0,099 | 6,26 | 1,36E-01 | 1,35E-02 | 0,00445 | 0,42285 | -84,484 | 1,10E-05 |
| 531890 | 0,0825 | 5,90 | 1,28E-01 | 1,06E-02 | 0,00106 | 0,08398 | -85,527 | 5,07E-05 |
| 1000000 | 0,0753 | 5,64 | 1,23E-01 | 9,24E-03 | 0,00062 | 0,04551 | -85,973 | 8,69E-05 |

Tableau III.1 : Les valeurs des propriétés diélectrique d'un PVC vierge.

➤ **Etape 2 : Pvc +02 % BaTiO3**

Epaisseur de condensateur : 3.4 mm

Surface de condensateur : 1.755 mm²

| F(Hz) | D | Cp(PF) | ϵ' | ϵ'' | R(G Ω) | Z(M Ω) | θ ($^\circ$) | Wd(W) |
|---------|--------|--------|-------------|--------------|----------------|----------------|-----------------------|----------|
| 20 | 0,259 | 1,75 | 3,83E-02 | 9,92E-03 | 6,047 | 1080 | -75,881 | 5,94E-09 |
| 25 | 0,244 | 3,77 | 8,25E-02 | 2,01E-02 | 5,33 | 920 | -76,508 | 7,02E-09 |
| 30 | 0,2345 | 6,37 | 1,39E-01 | 3,27E-02 | 4,77 | 800 | -77,008 | 8,07E-09 |
| 45 | 0,208 | 6,18 | 1,35E-01 | 2,81E-02 | 3,71 | 540 | -78,414 | 1,07E-08 |
| 50 | 0,1929 | 6,19 | 1,36E-01 | 2,61E-02 | 3,62 | 510 | -78,943 | 1,09E-08 |
| 62 | 0,1609 | 6,1 | 1,34E-01 | 2,16E-02 | 3,35 | 430 | -80,118 | 1,14E-08 |
| 73 | 0,1571 | 6,09 | 1,33E-01 | 2,10E-02 | 2,95 | 350,54 | -80,581 | 1,33E-08 |
| 85 | 0,1543 | 5,97 | 1,31E-01 | 2,02E-02 | 2,65 | 310,9 | -80,928 | 1,50E-08 |
| 92 | 0,1505 | 5,97 | 1,31E-01 | 1,97E-02 | 2,48 | 290,4 | -81,411 | 1,60E-08 |
| 120 | 0,139 | 5,87 | 1,28E-01 | 1,79E-02 | 1,95 | 210,6 | -82,862 | 1,94E-08 |
| 139 | 0,1329 | 5,85 | 1,28E-01 | 1,70E-02 | 1,78 | 180,66 | -82,619 | 2,12E-08 |
| 190 | 0,0966 | 5,75 | 1,26E-01 | 1,22E-02 | 1,51 | 154,49 | -82,305 | 2,11E-08 |
| 285 | 0,0529 | 5,42 | 1,19E-01 | 6,28E-03 | 1,65 | 121,1 | -84,348 | 1,73E-08 |
| 312 | 0,0492 | 4,98 | 1,09E-01 | 5,37E-03 | 2,027 | 119,95 | -85,329 | 1,77E-08 |
| 360 | 0,0414 | 4,53 | 9,92E-02 | 4,11E-03 | 2,57 | 99,23 | -87,301 | 1,70E-08 |
| 410 | 0,0463 | 5,08 | 1,11E-01 | 5,15E-03 | 2,14 | 80,24 | -87,287 | 2,18E-08 |
| 562 | 0,0534 | 6,01 | 1,32E-01 | 7,03E-03 | 1,18 | 53,95 | -86,482 | 3,45E-08 |
| 705 | 0,0879 | 5,52 | 1,21E-01 | 1,06E-02 | 0,61 | 50,54 | -84,529 | 7,11E-08 |
| 843 | 0,0966 | 5,34 | 1,17E-01 | 1,13E-02 | 0,439 | 44,64 | -84,073 | 9,36E-08 |
| 1105 | 0,1016 | 5,32 | 1,16E-01 | 1,16E-02 | 0,345 | 33,6 | -83,982 | 1,27E-07 |
| 10068 | 0,1000 | 4,56 | 9,98E-02 | 9,99E-03 | 0,042 | 4,31 | -83,87 | 1,16E-06 |
| 24800 | 0,0981 | 4,32 | 9,46E-02 | 9,28E-03 | 0,0186 | 1,93 | -83,913 | 2,79E-06 |
| 96000 | 0,0909 | 4,00 | 8,75E-02 | 7,96E-03 | 0,0057 | 0,547 | -84,264 | 1,00E-05 |
| 531890 | 0,0751 | 4,11 | 9,00E-02 | 6,76E-03 | 0,00136 | 0,107 | -85,231 | 4,58E-05 |
| 1000000 | 0,0684 | 3,57 | 7,81E-02 | 5,35E-03 | 0,00081 | 0,052 | -85,639 | 7,86E-05 |

Tableau III.2 : Les valeurs des propriétés diélectrique d'un PVC dopé de 2% BaTiO₃.

➤ **Etape 3 : Pvc +04 % BaTiO₃**

Epaisseur de condensateur : 3.4 mm

Surface de condensateur : 1.755 mm²

| F(HZ) | D | C(PF) | ϵ' | ϵ'' | R(GΩ) | Z(MΩ) | Θ (°) | Wd (W) |
|---------|--------|-------|-------------|--------------|---------|--------|---------|----------|
| 20 | 0,2395 | 1,36 | 2,98E-02 | 7,13E-03 | 9,14 | 1164 | -69,622 | 5,50E-09 |
| 25 | 0,226 | 3,98 | 8,71E-02 | 1,97E-02 | 8,74 | 993 | -75,252 | 6,50E-09 |
| 30 | 0,2204 | 5,82 | 1,27E-01 | 2,81E-02 | 8,25 | 859,96 | -79,223 | 7,59E-09 |
| 45 | 0,1852 | 5,49 | 1,20E-01 | 2,23E-02 | 6,55 | 608,27 | -83,273 | 9,57E-09 |
| 50 | 0,1844 | 5,48 | 1,20E-01 | 2,21E-02 | 8,5 | 572,17 | -83,011 | 1,04E-08 |
| 62 | 0,1517 | 5,49 | 1,20E-01 | 1,82E-02 | 4,11 | 483,91 | -82,424 | 1,07E-08 |
| 73 | 0,1461 | 5,46 | 1,20E-01 | 1,75E-02 | 3,32 | 419,68 | -82,295 | 1,24E-08 |
| 85 | 0,143 | 5,43 | 1,19E-01 | 1,70E-02 | 2,74 | 371,51 | -82,167 | 1,39E-08 |
| 92 | 0,141 | 5,42 | 1,19E-01 | 1,67E-02 | 2,54 | 347,28 | -81,97 | 1,50E-08 |
| 120 | 0,1282 | 5,38 | 1,18E-01 | 1,51E-02 | 1,94 | 273,55 | -81,959 | 1,78E-08 |
| 139 | 0,121 | 5,30 | 1,16E-01 | 1,40E-02 | 1,87 | 242,81 | -82,535 | 1,93E-08 |
| 190 | 0,073 | 5,14 | 1,13E-01 | 8,21E-03 | 1,66 | 177,97 | -83,64 | 1,60E-08 |
| 285 | 0,05 | 5,04 | 1,10E-01 | 5,52E-03 | 1,9 | 135,08 | -85,339 | 1,64E-08 |
| 312 | 0,035 | 4,18 | 9,15E-02 | 3,20E-03 | 2,28 | 133,69 | -86,182 | 1,26E-08 |
| 360 | 0,0379 | 4,03 | 8,82E-02 | 3,34E-03 | 2,84 | 131,6 | -87,446 | 1,56E-08 |
| 410 | 0,0410 | 4,61 | 1,01E-01 | 4,14E-03 | 2,33 | 106,02 | -87,524 | 1,93E-08 |
| 562 | 0,0479 | 5,54 | 1,21E-01 | 5,81E-03 | 1,25 | 59,900 | -86,928 | 3,09E-08 |
| 705 | 0,0806 | 5,19 | 1,14E-01 | 9,16E-03 | 0,650 | 51,240 | -84,981 | 6,51E-08 |
| 843 | 0,089 | 4,96 | 1,09E-01 | 9,66E-03 | 0,464 | 44,350 | -84,468 | 8,61E-08 |
| 1105 | 0,0915 | 4,82 | 1,06E-01 | 9,66E-03 | 342,2 | 34,490 | -84,264 | 1,16E-07 |
| 10068 | 0,0967 | 4,22 | 9,24E-02 | 8,93E-03 | 0,044 | 4,400 | -84,171 | 1,12E-06 |
| 24800 | 0,0942 | 3,99 | 8,73E-02 | 8,23E-03 | 0,019 | 1,92 | -84,303 | 2,68E-06 |
| 96000 | 0,085 | 3,70 | 8,10E-02 | 6,88E-03 | 0,0059 | 0,545 | -84,795 | 9,36E-06 |
| 531890 | 0,0708 | 3,44 | 7,53E-02 | 5,33E-03 | 0,0014 | 0,108 | -85,73 | 4,32E-05 |
| 1000000 | 0,0643 | 3,33 | 7,29E-02 | 4,69E-03 | 0,00085 | 0,058 | -86,105 | 7,38E-05 |

Tableau III.3 : Les valeurs des propriétés diélectrique d'un PVC dopé de 4% BaTiO₃.

➤ **Etape 4 : Pvc +06 % BaTiO₃**

Epaisseur de condensateur : 3.4 mm

Surface de condensateur : 1.755 mm²

CHAPITRE III

PARTIE EXPERIMENTALE

| F(HZ) | D | Cp(PF) | ϵ' | ϵ'' | R(GΩ) | Z(MΩ) | θ (°) | Wd(W) |
|---------|--------|--------|-------------|--------------|----------|--------|--------------|----------|
| 20 | 0,2358 | 1,13 | 2,48E-02 | 5,85E-03 | 9,14 | 1230 | -86,207 | 5,40E-09 |
| 25 | 0,2236 | 2,88 | 6,32E-02 | 1,41E-02 | 8,74 | 1090 | -75,35 | 6,41E-09 |
| 30 | 0,2175 | 4,71 | 1,03E-01 | 2,25E-02 | 8,25 | 928,3 | -79,65 | 7,46E-09 |
| 45 | 0,1762 | 5,26 | 1,15E-01 | 2,03E-02 | 6,55 | 668,68 | -84,29 | 9,08E-09 |
| 50 | 0,174 | 5,29 | 1,16E-01 | 2,02E-02 | 8,5 | 629,5 | -83,86 | 9,81E-09 |
| 62 | 0,1412 | 5,24 | 1,15E-01 | 1,63E-02 | 4,11 | 530,16 | -82,95 | 9,97E-09 |
| 73 | 0,1366 | 5,24 | 1,15E-01 | 1,57E-02 | 3,32 | 469,12 | -82,69 | 1,16E-08 |
| 85 | 0,1338 | 5,19 | 1,14E-01 | 1,53E-02 | 2,74 | 391,8 | -82,49 | 1,30E-08 |
| 92 | 0,1304 | 5,13 | 1,13E-01 | 1,47E-02 | 2,54 | 362,95 | -82,58 | 1,38E-08 |
| 120 | 0,1174 | 5,06 | 1,11E-01 | 1,30E-02 | 1,94 | 276,23 | -82,84 | 1,63E-08 |
| 139 | 0,1159 | 5,03 | 1,10E-01 | 1,28E-02 | 1,9 | 256,88 | -82,87 | 1,76E-08 |
| 190 | 0,0653 | 4,91 | 1,08E-01 | 7,04E-03 | 1,66 | 185 | -82,92 | 1,42E-08 |
| 285 | 0,0404 | 4,44 | 9,75E-02 | 3,94E-03 | 1,9 | 141,11 | -84,91 | 1,32E-08 |
| 312 | 0,0372 | 4,04 | 8,87E-02 | 3,30E-03 | 2,28 | 138,65 | -85,94 | 1,33E-08 |
| 360 | 0,0350 | 3,73 | 8,19E-02 | 2,87E-03 | 2,84 | 134,96 | -87,44 | 1,44E-08 |
| 410 | 0,0369 | 4,48 | 9,84E-02 | 3,64E-03 | 2,33 | 108,76 | -87,52 | 1,73E-08 |
| 562 | 0,0406 | 5,12 | 1,12E-01 | 4,57E-03 | 1,25 | 61510 | -86,85 | 2,61E-08 |
| 705 | 0,0780 | 4,10 | 9,00E-02 | 7,03E-03 | 0,650 | 52540 | -84,879 | 6,29E-08 |
| 843 | 0,0861 | 3,99 | 8,76E-02 | 7,55E-03 | 0,464 | 45500 | -84,81 | 8,31E-08 |
| 1105 | 0,0880 | 4,10 | 9,00E-02 | 7,92E-03 | 0,342 | 35600 | -84,28 | 1,11E-07 |
| 10068 | 0,0945 | 3,94 | 8,65E-02 | 8,18E-03 | 0,441 | 4390 | -84,2 | 1,09E-06 |
| 24800 | 0,0914 | 3,77 | 8,28E-02 | 7,57E-03 | 0,0195 | 1,97 | -84,4 | 2,59E-06 |
| 96000 | 0,0831 | 3,51 | 7,71E-02 | 6,40E-03 | 0,00599 | 0,555 | -84,91 | 9,12E-06 |
| 531890 | 0,0676 | 3,21 | 7,05E-02 | 4,76E-03 | 0,00143 | 0,109 | -85,83 | 4,11E-05 |
| 1000000 | 0,0624 | 3,11 | 6,83E-02 | 4,27E-03 | 0,000849 | 0,059 | -86,2 | 7,15E-05 |

Tableau III.4 : Les valeurs des propriétés diélectrique d'un PVC dopé de 6% BaTiO₃.

➤ Etape 5 : Pvc +08 % BaTiO₃

Epaisseur de condensateur : 3.4 mm

Surface de condensateur : 1.755 mm²

| F(Hz) | D | Cp(PF) | ϵ'' | ϵ''' | R(G Ω) | Z(M Ω) | θ (°) | Wd(W) |
|---------|--------|--------|--------------|---------------|----------------|----------------|--------------|----------|
| 20 | 0,2242 | 1,18 | 2,59E-02 | 5,81E-03 | 13,75 | 1410 | -71,674 | 5,13E-09 |
| 25 | 0,2194 | 2,60 | 5,71E-02 | 1,25E-02 | 12,87 | 1130 | -76,395 | 6,29E-09 |
| 30 | 0,2063 | 3,99 | 8,76E-02 | 1,81E-02 | 11,89 | 941,22 | -97,79 | 7,08E-09 |
| 45 | 0,1627 | 3,81 | 8,36E-02 | 1,36E-02 | 9,33 | 708,6 | -83,66 | 8,38E-09 |
| 50 | 0,1492 | 3,94 | 8,65E-02 | 1,29E-02 | 7,71 | 654,55 | -83,6 | 8,41E-09 |
| 62 | 0,1341 | 3,98 | 8,74E-02 | 1,17E-02 | 4,26 | 528,06 | -83,3 | 9,47E-09 |
| 73 | 0,127 | 3,94 | 8,65E-02 | 1,10E-02 | 3,48 | 457,41 | -82,57 | 1,07E-08 |
| 85 | 0,123 | 3,89 | 8,54E-02 | 1,05E-02 | 3,00 | 404,42 | -82,03 | 1,19E-08 |
| 92 | 0,1214 | 3,96 | 8,69E-02 | 1,06E-02 | 2,8 | 375,12 | -81,91 | 1,29E-08 |
| 120 | 0,1094 | 3,97 | 8,72E-02 | 9,54E-03 | 2,79 | 287,21 | -81,56 | 1,52E-08 |
| 139 | 0,1034 | 3,96 | 8,69E-02 | 8,99E-03 | 2,39 | 258,74 | -82,43 | 1,64E-08 |
| 190 | 0,0606 | 4,01 | 8,80E-02 | 5,34E-03 | 1,63 | 195,83 | -84,14 | 1,32E-08 |
| 285 | 0,0394 | 4,04 | 8,87E-02 | 3,50E-03 | 2,13 | 148,76 | -86,1 | 1,29E-08 |
| 312 | 0,0346 | 3,93 | 8,63E-02 | 2,99E-03 | 2,64 | 148,29 | -86,9 | 1,24E-08 |
| 360 | 0,0325 | 3,42 | 7,51E-02 | 2,44E-03 | 3,4 | 147,52 | -88,11 | 1,33E-08 |
| 410 | 0,0334 | 3,16 | 6,94E-02 | 2,32E-03 | 2,78 | 118,14 | -88,08 | 1,57E-08 |
| 562 | 0,0372 | 4,41 | 9,68E-02 | 3,60E-03 | 1,47 | 65331 | -87,14 | 2,39E-08 |
| 705 | 0,0755 | 3,50 | 7,68E-02 | 5,80E-03 | 0,754 | 56150 | -84,95 | 6,09E-08 |
| 843 | 0,0847 | 3,71 | 8,15E-02 | 6,90E-03 | 0,542 | 48570 | -84,4 | 8,18E-08 |
| 1105 | 0,0852 | 3,87 | 8,50E-02 | 7,24E-03 | 0,414 | 37896 | -84,25 | 1,08E-07 |
| 10068 | 0,0910 | 3,53 | 7,75E-02 | 7,05E-03 | 0,047 | 4900 | -84,29 | 1,05E-06 |
| 96000 | 0,0804 | 3,26 | 7,16E-02 | 5,76E-03 | 0,06 | 0,6 | -84,96 | 8,82E-06 |
| 531890 | 0,0649 | 3,08 | 6,76E-02 | 4,39E-03 | 0,001 | 0,119 | -85,87 | 3,95E-05 |
| 1000000 | 0,0591 | 3,00 | 6,59E-02 | 3,90E-03 | 0,974 | 0,064 | -86,31 | 6,77E-05 |

Tableau III.5 : Les valeurs des propriétés diélectrique d'un PVC dopé de 8% BaTiO₃.

III.8 Présentation des courbes

III.8.1 Les courbes représentant le facteur de dissipation

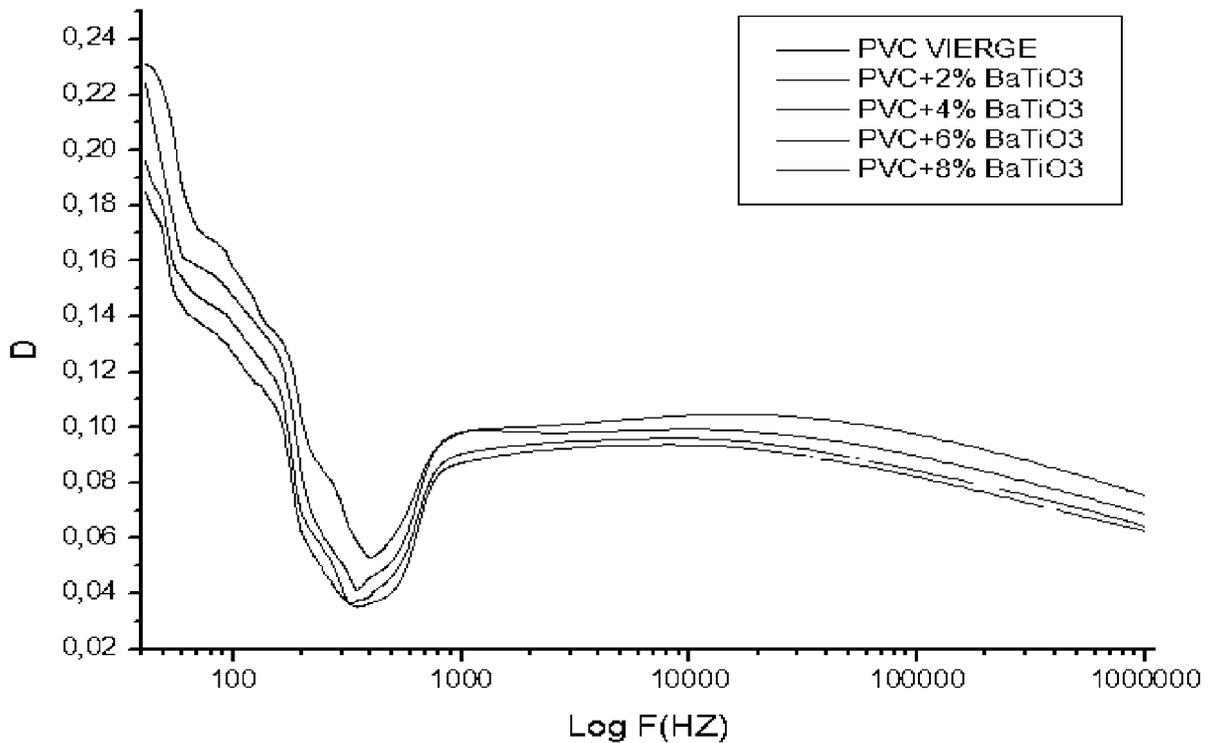


Figure III.8 : Courbe représentant le facteur de dissipation (film PVC et film PVC dopé avec BaTiO_3)

Observation

On observe que les courbes du facteur de dissipation sont diminuées graduellement dans le début, en suite on remarque une augmentation après une diminution rapide sous forme de pic dans le domaine fréquentielle [190Hz-843Hz], après sa les courbes deviennent presque stable.

Et on remarque que tout fois on augmente la dose de BaTiO_3 le facteur de dissipation diminuée.

III.8.2. Les courbes représentant la constante diélectrique.

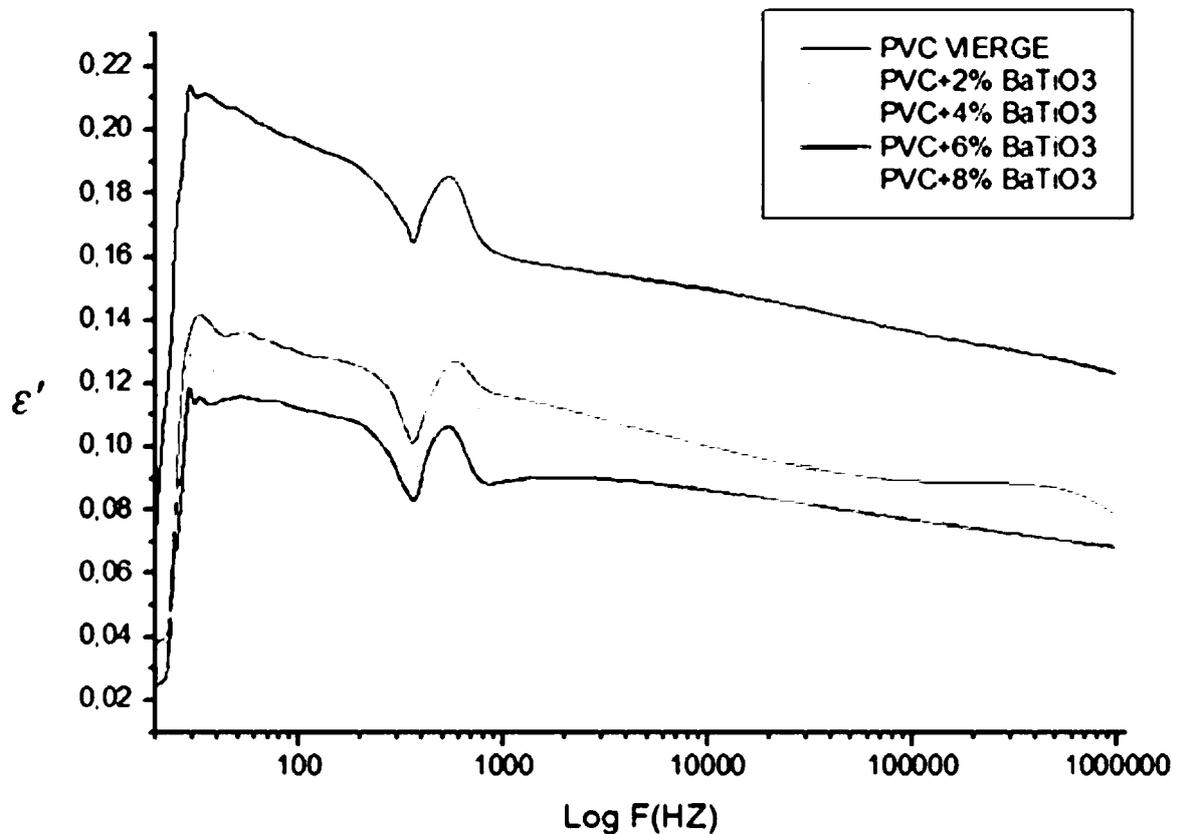


Figure III.9 : Courbe représentant la constante diélectrique (film PVC et film PVC dopé avec BaTiO₃).

Observation

Une augmentation de la constante diélectrique dans le domaine fréquentielle [20HZ - 41HZ] puis une diminution graduelle jusqu'à une certaine valeur de la fréquence, puis on remarque une diminution et augmentation et diminution successif courte et rapide sous forme d'un pic dans le domaine fréquentielle [190Hz -705Hz] après sa on remarque que les courbes continue a diminué.

Et on remarque que tout fois on augmente la dose de BaTiO₃, la constante diélectrique diminuée.

III.8.3. Les courbes représentant l'indice de perte

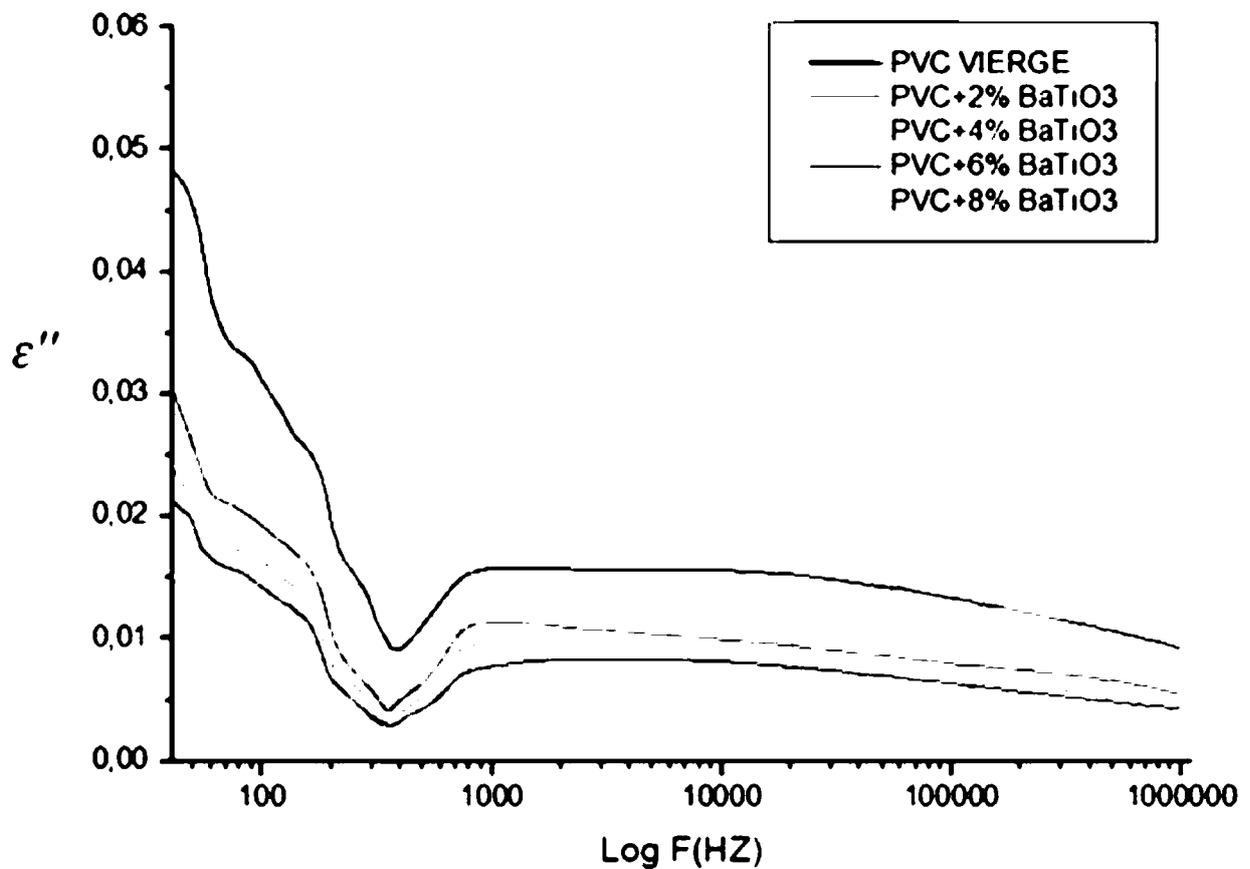


Figure III.10 : Courbe représentant l'indice de perte (film PVC et film PVC dopé avec BaTiO₃).

Observation

On observe que les courbes de l'indice de perte sont diminuées graduellement dans le début, en suite on remarque une diminution puis une augmentation rapide sous forme de pic dans le domaine fréquentielle [190Hz-843Hz], après sa les courbes deviennent presque stable.

Les courbes du PVC vierge et PVC dopé de 2%, 4%,6%,8% BaTiO₃ sont l'un dessous l'autre respectivement.

III.8.4. Les courbes représentant l'impédance

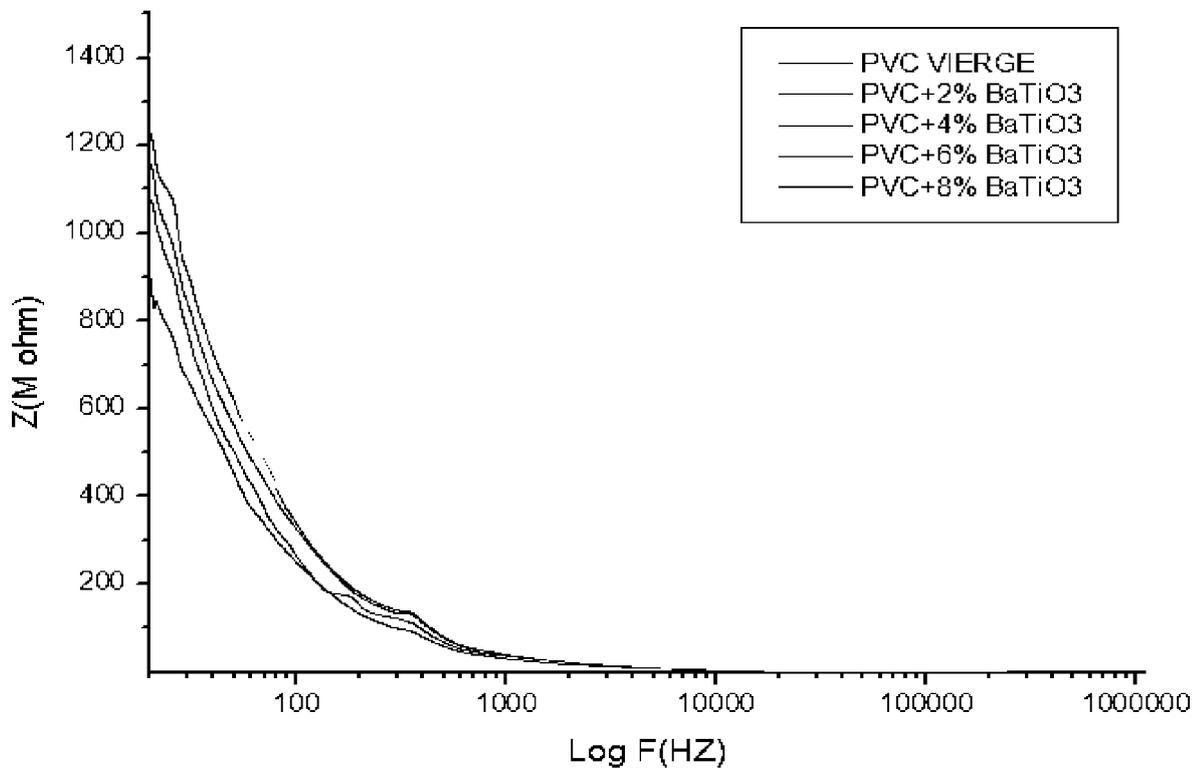


Figure III.11 : Courbe représentant l'impédance (film PVC et film PVC dopé avec BaTiO₃)

Observation

La valeur de l'impédance diminuée inversement proportionnelle a la fréquence, et on remarque une petite pic dans l'intervalle [280HZ – 400HZ] telle que une augmentation rapide puis elle revienne a diminué a nouveau

Les courbes du PVC vierge et PVC dopé de 2%, 4%,6%,8% BaTiO₃ sont l'un dessus l'autre respectivement.

III.8.5. Les courbes représentant la résistance

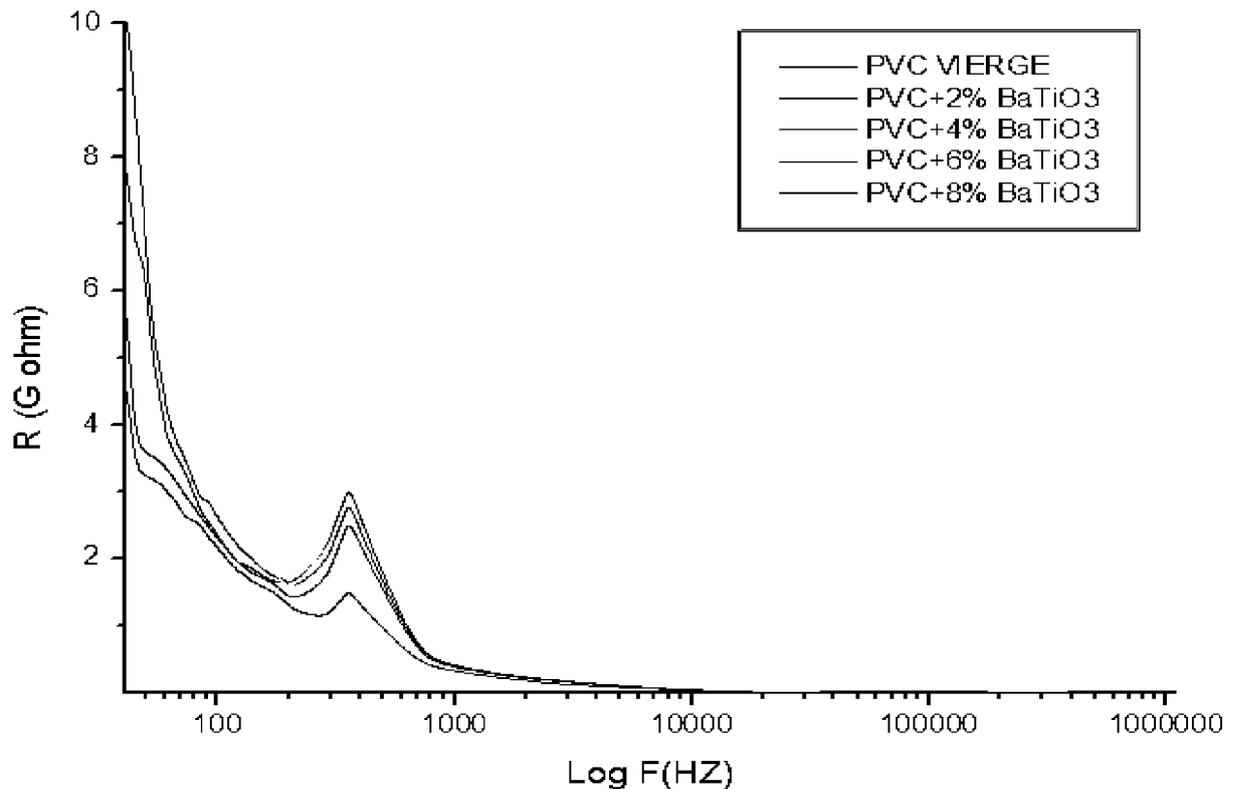


Figure III.12 : Courbe représentant la résistance (film PVC et film PVC dopé avec BaTiO_3)

Observation

La valeur de R est diminuée au début de la courbe, en suite une augmentation et diminution successive sous forme d'un pic dans le domaine fréquentielle [312HZ – 843HZ], après ca les courbes continuent leur diminution.

Les courbes du PVC vierge et PVC dopé de 2%, 4%,6%,8% BaTiO_3 sont l'un dessus l'autre respectivement.

III.8.6. Les courbes représentant le courant diélectriques

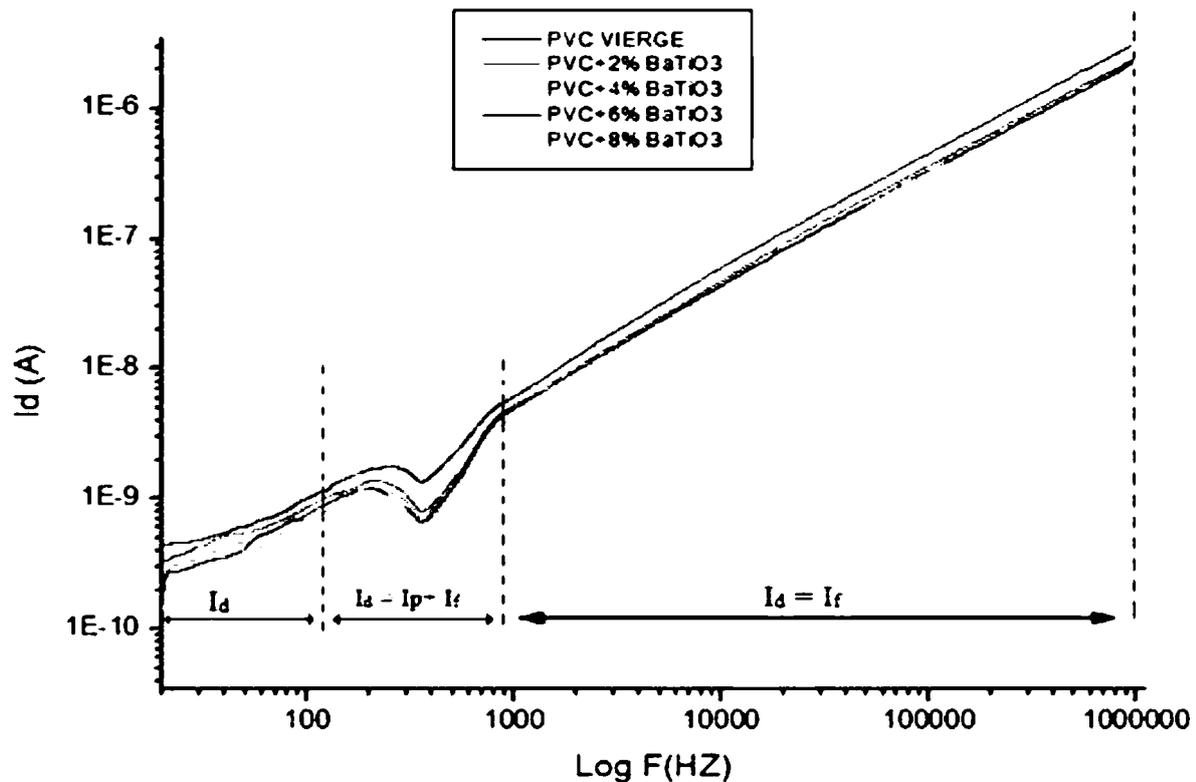


Figure III.13 : Courbe représentant le courant diélectrique (film PVC et film PVC dopé avec BaTiO₃).

Observation

On observe que le courant diélectrique augmente parallèlement avec la fréquence, en suite on remarque une diminution et une augmentation courte et rapide sous forme d'un pic dans le domaine fréquentielle [180HZ – 900HZ], après le pic on remarque que les courbes continuent leur augmentation.

Les courbes du PVC vierge et PVC dopé de 2%, 4%, 6%, 8% BaTiO₃ sont l'un dessous l'autre respectivement.

III.8.7. Les courbes représentant les pertes diélectriques

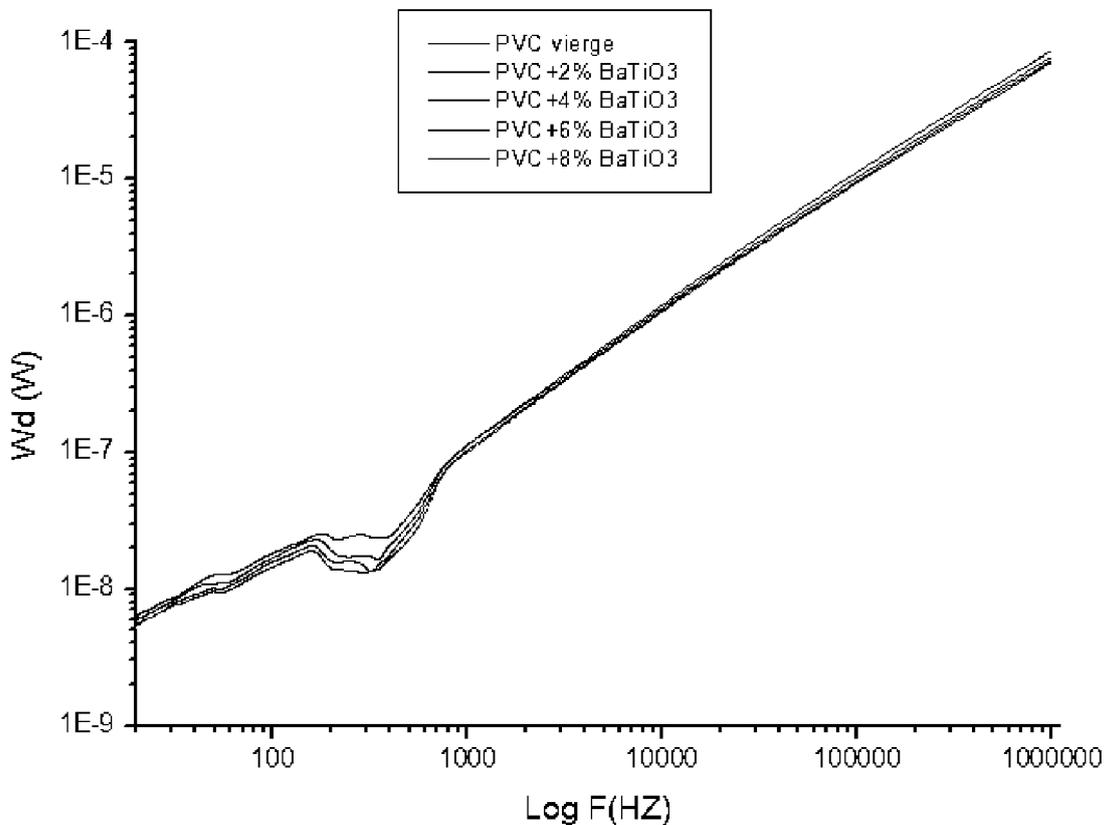


Figure III.14 : Courbe représentant les pertes diélectrique (film PVC et film PVC dopé avec BaTiO₃).

Observation

On observe que les pertes diélectrique augmente parallèlement avec la fréquence jusqu'à 180 Hz, en suite on remarque une diminution et une augmentation courte et rapide sous forme d'un pic dans le domaine fréquentielle [180Hz – 900Hz], après le pic on remarque que les courbes continue leurs augmentation.

Les courbes du PVC vierge et PVC dopé de 2%, 4%,6%,8% BaTiO₃ sont l'un dessous l'autre respectivement.

Et on remarque que tout fois on augmente la dose de BaTiO₃ les pertes diminuées.

III.9. Interprétation des résultats :

Les valeurs de la polarisation et de la constante diélectrique dépendent de la plus ou moins grande facilité avec laquelle les moments dipolaires se réorientent lorsque la direction du champ varie. Le temps requis pour que cette réorientation ait lieu est appelé temps de relaxation τ et son inverse la fréquence de relaxation f .

Lorsque la fréquence du champ électrique est beaucoup plus élevée que la fréquence de relaxation d'un type de polarisation, cette polarisation ne peut pas se produire. A l'inverse, si la fréquence du champ électrique est très inférieure à la fréquence de relaxation, la polarisation se produit instantanément et le déphasage entre P et E est nul. Mais si la fréquence de champ électrique et la fréquence de relaxation sont voisines, le déphasage δ augmente pour atteindre une valeur maximale. Alors la fréquence de résonance est aussi la fréquence de relaxation.

les pics de toutes les courbes sont toujours superposés malgré qu'il y a une différence dans le dosage du BaTiO₃ et cela signifie que la relaxation (la polarisation d'orientation) du composite BaTiO₃ est absente qui revient à la fréquence très élevée (de l'ordre de GHz) de sa relaxation, donc on ne peut pas la voir dans notre domaine de fréquence.

III.10. Conclusion

Ce chapitre est divisé essentiellement en deux parties :

Tout d'abord, les méthodes expérimentales ont été décrites elles comprennent la préparation des échantillons, les dispositifs de mesure ainsi que les méthodes de mesure des propriétés diélectriques, à savoir la constante diélectrique, le facteur de pertes diélectrique, l'indice des pertes et la permittivité diélectrique. On a conclu que l'ajout de BaTiO₃ au PVC influe clairement sur ces propriétés (constante diélectrique ou la permittivité relative ϵ_r' , Le facteur de dissipation diélectrique $\tan \delta$ et l'indice de perte diélectrique ϵ_r''). Mais n'influe pas sur le temps de relaxation de PVC.

Les valeurs de l'indice de pertes sont plus importantes quand on utilise le composite BaTiO₃.

Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous avons tenté d'interpréter les résultats obtenus.

CONCLUSION
GENERALE

Conclusion générale

Conclusion générale :

Dans ce travail, nous avons exposé des théories générales sur les propriétés diélectriques de BaTiO₃, ainsi que leurs caractérisations et applications.

En premier lieu et afin d'atteindre cet objectif nous avons commencé par l'étude qui sert à expliquer les procédures des mesures réalisées, et à établir les différentes relations liant la permittivité diélectrique.

Le cadre de notre étude ayant été fixé dans le dernier chapitre, plusieurs mesures effectuées à l'aide d'un dispositif (l'analyseur d'impédance de précision) ont permis de déterminer les propriétés diélectriques, les paramètres ont été mesurés dans une gamme de fréquence 20 Hz-1 MHz et de potentiel appliqué à 2V.

L'analyse des mesures faites sur ces polymères nous a permis de tirer les conclusions suivantes : Notre polymère est un diélectrique polaire, alors quand il est soumis sous un champ électrique donc la polarisation qui existe est une polarisation dipolaire.

La polarisation dipolaire se fait dans la gamme de fréquence 1KHz jusqu'à 50 KHz.

- Quand la fréquence du champ électrique est voisine de la fréquence de matériau, les pertes sont maximales.
- La fréquence de résonance de notre diélectrique a été trouvée égale à 18KHz.
- La diminution de la capacité d'un condensateur fait logiquement augmenter son épaisseur dans le but de minimiser les pertes.
- Le matériau ferroélectrique BaTiO₃ a une grande influence sur les pertes.
- les pertes dépendent aussi de l'indice de viscosité, ce dernier traduit le nombre de molécule du matériau
- le facteur de dissipation diélectrique $\tan \delta$ et l'indice de pertes diélectriques ϵ'' diminue lorsqu'on augmente la dose du composite BaTiO₃.
- Pour atteindre un minimum de pertes, il faut réduire le temps de courant de polarisation ($I_{diel} = I_p + I_f$).

Ces différents résultats ouvrent de larges perspectives quant à des applications de ces matériaux dans le domaine de la fabrication des composants électroniques exigeant une grande stabilité des propriétés électriques en fonction de la fréquence.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Bibliographie :

- [1] J.Philippou, « Verre : Aspects théorique », Technique de l'ingénieur, Référence AF3600, Montpellier, Juillet, 2011.
- [2] A. Anton et J.L. STEINLES, « Micas et produits micacés », Technique de l'ingénieur, Référence D2360, Toulouse, Mai 1997.
- [3] R. Fournie, « les isolantes en électrotechniques, Essais, Mécanisme de dégradation application industrielle », Edition Eyrolles.Paris.1990.
- [4] A. Mouatsi, « Etude de l'effet de l'humidité sur les propriétés électriques de la surface d'un polymère » Mémoire de magistère en électrotechniques, université de Mentouri de Constantine.
- [5] M. J.BLAZEC «study of the reaction kinetics of the thermal degradation of the polymer», these de doctorate, Toulouse 2008
- [6] M. Samira « Etude des propriétés thermiques de mélanges à base de PVC et PVC PEHD et les phénomènes de dégradation ». Mémoire Magister Université KASDI MERBAH-OURGLA 2012.
- [7] Blanchard J.J., Fallou B. Matériaux isolantes solides. Technique de l'ingénieur .K212
- [8] Zerouali Zina «Etude de la tension de retour des matériaux diélectrique utilisée dans l'isolation électrique » Mémoire Magister en électrotechnique Université Mouloud Mammeri de Tizi- Ouzou ,21 juin 2012.
- [9] B. Latifa « modélisation moléculaire des copolymères PMMA-PS ».Mémoire Magister en physique. Université MOHAMED BOUDIAF d'ORAN, 2011 / 2012.
- [10] T. Saida « Théorie de Corrélation de la diffusion de Rayleigh de la lumière dans les matériaux polymères amorphes », Mémoire Magister Université Ferhat Abbas-Sétif, 2010.
- [11] Christopher D. Anderson et Eric S Daniels « Emulsion polymerization and Latex Application », Smothers Rapra publishing. (2003). 160p
- [12] Peacock A.J.Handbook of polyethylene: structure, properties, and Applications, New York: Marcel Dekker, 534, (2001).
- [13] J. Dupuy. « Synthèse de nouveau catalyseur pour la polymérisation de l'éthylène », thèse de doctorat, Université Lyon 1,171, (2001)
- [14] M. Pays, «Câbles de transport d'énergie – Technologies. Caractéristiques», Techniques de l'ingénieur, rubrique Réseaux Electriques Mixtes - Ingénierie des Réseaux, D 4520, décembre 1994.
- [15] Meyar Meriem « Etude du system chimique BaTiO3-SrF2-LiF : synthèse et caractérisation », Mémoire Magister Université Houari Boumediene ,2005.
- [16] A.BENZAIADA-TAIBI, «Oxyfluorures ferroélectriques de type pérovskite, application aux diélectriques pour condensateur » thèse de doctorat science chimiques U.STHB(1987)
- [17] G. PFAFF, «sol-gel synthesis of barium titanate powders of various composition »J.Mater.chem. 32(6), 591-594(1992).

Bibliographie

- [18] S.Djedjiga «Effet de décharge couronne sur les surfaces isolantes et les surfaces métalliques », Mémoire Magister Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou décembre 2011.
- [19] B.Souad « Etude et Modélisation de déclin de Potentiel de surface par les réseaux de Neurones », Mémoire Magister Université Badji Mokhtar – Annaba 2010.
- [20] B.Messaoud « étude de comportement des diélectriques solide et compensation des courants de fuite dans un réseau électrique ». Thèse doctorat Université badji Mokhtar-Anaba 2007.
- [21] B .Anis et S. Abdel Basset « Etude de l'influence de barrière isolantes sur la rigidité diélectrique de l'air ». Mémoire Master Université KASDI MERBAH-OURGLA 23/06/2013.
- [22] S.kitouni « impact addition en petites et grands proportions sur les propriétés physiques de la porcelaine », thèse doctorat Université de Constantine 1 .28/11/2013.
- [23] Hazar Medhioud Rekik. « Caractérisation Structural et Suivi du vieillissement par diffusion X aux petite angles d'un polymère époxyde Contribution à l'étude des propriétés électriques », thèse doctorat Faculté des sciences de Sfax (Tunisie) avril 2009
- [24] G.Roussy, J.Francois Rochas, Claude Oberlin, chauffage diélectrique Technique de l'ingénieure 17/09/2008.
- [25] S.Orlowska « Conception et prédication des caractéristique diélectrique des matériaux composites a deux et trois phases par la modélisation et la validation expérimentale ».thèse doctorat l'écoule centrale de lion, 30/3/1992
- [26] R. Von Hippel, diélectrique matériels and application, M.I.T.press 1996.
- [27] B.Guiffard, « élaboration et caractérisation de céramiques ferroélectriques de type PZT fluore ». Thèse, Institut National des sciences appliquées de Lyon (1999)
- [28] M.Bechara Keyrouz , « Etude des matériaux isolantes d'encabulation pour la montée en température des modules de puissance haute tension », thèse doctorat Université de Toulouse ,2011.
- [29] Amar Tilmatin, « Matériaux diélectriques », cours, ETL438-chapite_7.pdf.
- [30] Coelho and B. Aladenize. Les Diélectriques- Propriétés diélectriques des matériaux Isolantes. Hèmes, paris, 1993.
- [31]R.Fourniés and R.Coelho.Diélectriques-Bases Théoriques .Techniques de l'ingénieures ,2000.
- [32] M. Alioui Salah « Etude du phénomène de relaxation dans une gaine de Câble de transport de l'énergie électrique », Mémoire Magister Université Ferhat Abbas, 2012.
- [33] N. Bouhli «Etude physique de la formation de films a base polymères conducteurs et applications en micro –électronique », thèse doctorat Université bordeaux I ,2009.

Bibliographie

[34] Z. Touri «Elaboration et caractérisation diélectrique des céramiques de titane de baryum. BaTiO₃ », Mémoire de Master Université Ferhat Abbas Sétif. 2012

RESUME

يركز هذا العمل على دراسة خصائص عازلة متعلقة بالعازل الكهربائي الشفاف من BaTiO₃ المركبة بقاعدة PVC. ولهذا الغرض قمنا بدراسة مجموعة من الخصائص مثل السماحية النسبية، فقدان عامل ونسبة الخسارة اعتمادا على وتيرة في نطاق من 20 هرتز إلى 1 ميغاهيرتز. القياسات التجريبية التي قمنا بها على نماذج تأخذ في الاعتبار تأثير تردد تطبيقها. أجريت القياسات التجريبية على عينات من المواد التي أعدت في المختبر باستخدام محلل مقاومة مع القيم ترددية مختلفة تطبيقها.

كلمات مفتاحية: تيتانات الباريوم، عازلة، والتردد، وبناء القدرات.

Résumé :

Ce travail porte sur l'étude des caractéristiques diélectriques ferroélectriques de matériau composite BaTiO₃ à base du PVC. Pour ce but on a étudié un ensemble de propriétés telles que la permittivité relative, le facteur de perte et l'indice de perte en fonction de la fréquence dans la gamme de 20 Hz à 1 MHz. Les mesures expérimentales que nous avons effectuées sur les modèles prennent en considération l'effet de la fréquence appliquée. Les mesures expérimentales ont été menées sur des échantillons de matériaux élaborés au laboratoire en utilisant un analyseur d'impédance avec différentes valeurs de fréquence appliqué.

Mots Clés : titanates de baryum; diélectrique, fréquence, capacité.

Abstract:

This work is the study of dielectric properties of ferroelectric BaTiO₃ composite PVC. For this purpose we studied a set of properties such as relative permittivity, loss factor and loss index as a function of frequency in the range of 20 Hz to 1 MHz. The experimental measurements that we performed on the models take into account the effect of applied frequency. The experimental measurements were conducted on samples of materials developed in the laboratory using an impedance analyzer with different values of applied frequency.

Key Words : BaTiO₃, dielectric, frequency, capacity