République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Université**YAHIA FARES**de **Médéa**



Faculté de la Technologie

Département de Génie d'électrique

Projet de fin d'étude

Présenté Pour L'obtention du Diplôme de Master

Filière : Electronique

Option : Instrumentation

Thème :

Etude et Simulation des Caractéristiques des Condensateurs Plans et Cylindriques sous l'Effet de la Température à base du Logiciel COMSOL Multi physiques

Présenté par :

- M^{elle} : NECHEM HADJER
- M^{elle} : BENZERGA RIMA MOUNA

Proposé et Diriger par :

Mr :B.MIMENE

Année universitaire : 2021/2022

Remerciement

Nous remercions avant tout premièrement

À Allah le tout puissant de nous avoir donné la chance, le

Courage, la volonté, la force et la patience pour Terminer ce mémoire.

Nos reconnaissances à Monsieur. B.MIMENE

Qu'il trouve ici l'expression de nos sincères

Remerciements d'avoir bien voulu accepter d'encadrer ce mémoire

et de nous avoir dirigés avec patience et intérêt pendant ce travail.

Nos remerciements vont également aux membres de jury qui ont

acceptés d'évaluer, d'examiner et d'enrichir notre travail.

Monsieur. CHIBA Younes

Monsieur. GUEDMANI Mohamed

Professeurs au département du Génie des électrique et de

l'informatique, UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA

N'oublier pas tous les enseignants et les responsables de notre

département d'Electronique à l'université de MEDEA

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à La réalisation

de ce travail



DEDICACE

Au meilleur des pères

Dont le mérite, les sacrifices et les qualités humaines

m'ont permis de vivre ce jour.

A ma très chère maman

Qu'ils trouvent en moi la source de leur fierté

A qui je dois tout

A mes sœur

Amina , Zola , fella ,aya ,chahinze

qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite

A mes Amis

A tous les gens m'aiment

A tous ceux qui me sont chers

B .rima



Dédicaces

A mes chers parents pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mes chères sœurs Djamila ,ratiba et abla pour leurs encouragements constants et leur soutien moral,

A mon cher frère Mohammed pour leur soutien et leurs encouragements,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

J'espère que ce travail sera l'accomplissement de mes soi-disant désirs et rêves

Merci d'être toujours à mes côtés.

N.HADJER

ملخص:

المكثف هو أحد مكونات تخزين الطاقة. تلعب المكثفات دورًا مهمًا في الإلكترونيات الرقمية. إنها تحمي الرقائق الدقيقة والحساسة من الضوضاء الكهربائية، وتزيل الاضطرابات التي يمكن أن تحدث في الإشارة المنطقية، وتوفر طاقة إضافية للدوائر الإلكترونية المتكاملة. للأهمية الكبيرة لهذا العنصر الإلكتروني، قمنا بنمذجة نوعين من المكثفات، المسطحة والأسطوانية. كما قمنا بدراسة خصائص العازلالدي يتعرض للظواهر الفيزيائية الخارجية، مثل تغير درجة الحرارة والتي ركزنا عليها في دراستنا. والتي تتمثل في محاكاة خصائص المكثفات وفقًا لدرجة الحرارة باستخدام برنامج COMSOL Multphysique.

الكلمات المفتاحية: نموذج المكثف،المحاكاة، النمذجة، الخصائص العازلة، برنامج كومصول,

---

Résumé:

Un condensateur est un composant de stockage d'énergie. Les condensateurs jouent un rôle important en électronique numérique. Ils protègent les puces délicates et délicates du bruit électrique, éliminent les perturbations pouvant survenir dans le signal logique et fournissent une alimentation supplémentaire aux circuits électroniques intégrés. Pour la grande importance de cet élément électronique, nous avons modélisé deux types de condensateurs, plans et cylindriques. Car, nous avons étudié les propriétés diélectriques qui sont exposées aux phénomènes physiques extérieurs, tel que le changement de température sur lequel nous nous sommes concentrés dans notre étudequi consiste à simuler lescaractéristiques des condensateurs en fonction de la température en utilisant le logiciel COMSOL Multphysique.

Mots clés : Modèle de condensateur, Simulation, Modélisation, propriétés diélectriques, COMSOL

Abstract :

A capacitor is an energy storage component. Capacitors play an important role in digital electronics. They protect delicate and delicate chips from electrical noise, eliminate disturbances that can occur in the logic signal, and provide additional power to integrated electronic circuits. For the great importance of this electronic element, we have modeled two types of capacitors, planes and cylindrical. Because, we studied the dielectric properties which are exposed to the external physical phenomena, such as the change of temperature on which we concentrated in our study which consists in simulating the characteristics of the condensers according to the temperature by using the software COMSOL Multphysique .

Keywords : Capacitor model, Simulation, Modeling, dielectric properties, COMSOL

SOMMAIRE

REMERCIEMENT

DEDICACES

RESUME

INTRODUCTION GENERALE..... 01

Chapitre I : GENERALITE SUR LES CONDENSATEURS

I.1 .Introduction ……..… 03

I.2 .Propriétés générales des condensateurs ……..…..04

2.1.Stockage d'énergie, capacité …….04

2.2.Surface des armatures en regard ……...05

I.2.3.Les caractéristiques électrique …….07

3.1. Schémas électriques……..……07

3.2. Résistance de fuite diélectrique (R_p) ……..….10

3.3.Résistance série équivalente (R_{ES}) ……....11

3.4.Influence de la température …….....12

.3.5.Courant de fuite et résistance d'isolement ……....12

3.6.Comportement de charge/décharge ……...13

3.7.Rigidité diélectrique …….....13

3.8.Epaisseur du diélectrique ……..…....15

3.9.Dissipation de l'énergie…….....……...15

3.10. Inductance ……..……15

I.2.4. Les type des condensateurs …….15

a. Les condensateurs à Film …….15

b. Les condensateurs Céramique……...16

c. Les condensateurs Électrolytique ……17

d. Les Supercondensateurs …….…..18

e. Les condensateurs Mica……19

f. Les condensateurs en Verre……...20

g. Les condensateurs à Traversée……..21

Conclusion…….21

Chapitre II

Etude des Caractéristiques des Condensateurs Plans et Cylindriques

II.1. Introduction…….....23

II.2. Caractéristiques des condensateurs plans et cylindriques…….23

II.2.1. condensateur plan ……..23

II.2.2Condensateur cylindrique…….. ..24

II.3.Les condensateurs non polarisés ……...26

a. À air …….…...26

b . Céramique……..….27

c. Plastique ……..…27

d. Autres ……..28

II.4.Les condensateurs polarisés ……..28

a. Au tantale ……..……...29

b. Électrolytiques aluminium ……30

II.5.Polarisation du matériau diélectrique……30

II.5.1. Polarisation du diélectrique……31
A. Polarisation en aspect macroscopique……..….32
B. Polarisation permanente……32
C. Polarisation induite……32
II.6. Claquage du condensateur ……..……...33
6.1.Dans les isolants solides ……33
6.2. Mécanismes de claquage ……...33
6.3 Claquage thermique ……..……34
6.4Claquage d'origine électronique…….…….34
a)Claquage intrinsèque……34
b)Claquage par avalanche……34
Effet des paramètres extérieur (Effet de température)
II.1.le condensateur à céramique ……34
II.1.2. Les types de condensateur céramique……..35
1.2.A. Les condensateursmonocouche ……...……..35
1.2.B. Les condensateurs multicouches ……..…….35
II.1.3. Le matériau diélectrique (le titanate de baryum BaTiO3)…….35
1.3.A. Caractéristiques de BaTiO3 ……..…35
1.3.B. Structure cristalline ……...36
II.1.4. Mesures électriques en température …….37
1.4.A. Mise en évidence des mécanismes de polarisation ……..37
1.4.B. Les caractéristiques électriques de la céramique ……..37
II.2. Condensateurs à films polymères métallisés ……..38
2.1.Interprétation de l'évolution des paramètres avec la température ……..…39
2.2. Evolution de la résistance équivalente série ……..40
Conclusion ……...41

Chapitre III : simulation et discussion des résultats

III.1Introduction ……...……43
III.2Définition du comsol…….…….43
III.3 Principe d'utilisation……...…..44
III.3 .1 Les déférentes étapes du processus de modélisation……..…..44
III.4 Avantage de comsolmultyphyisiques…….……..45
III.5 Choix d'utilisation modèle comsol……...……45
III.6 L'interface Utilisateur De Comsol……..……...…46
6.1 La barre d'outils…….……...47
6.2 Ruban……..…47
6.3 Home…….47
6.4 Definitions ……48
6.5 Geometry……..…….48
6.6 Physics……49
6. 7 Mesh…….....…….…….49
III.7 Model Builder…….……..49
7.1 Setting Geometry ……..…….50
7.2 Graphics……...…51
7.3 Messages et résultats physiques……...…51
III.8 Simulation…….51
8.1 Les Etapes De Construction D'un Model Condensateur Plan ……...52
8.2 Les Etapes De Construction D'un Model Condensateur cylindrique ……56
III.9 Résultats……61
9.1 Résultats de condensateur plane ……61
9.2 Résultats de condensateur cylindrique ……....66
III 10 Conclusion…….71
Conclusion Générale ……..72

Liste Des Figures

Figure (I.1): Famille de condensateur en fonction de leur capacité……04

Figure (I.2) : Gamme de tension nominale pour différentes familles de condensateurs……..04

Figure (I.3): Condensateur plan……..05

Figure(I.4) : Condensateur bobiné……06

Figure(I.5): Condensateur sous forme parallélépipédique…….……06

Figure (I.6) : Condensateur cylindrique à une couche…….06

Figure (I.7): Schéma équivalent d'un condensateur……07

Figure (I.8) : Schéma équivalent série simplifié du condensateur……08

Figure (I. 9) : Diagramme de Fresnel……..09

Figure(I.10) : Influence de Rp en fonction de la fréquence f sur C et R_{ES}……09

Figure(I.11) : Schéma équivalent simplifié en continu…….10

Figure (I.12) : Condensateurs à film polyester……..15

Figure(I.13): Condensateur céramique……16

Figure (I.14) : Condensateur électrolytique……17

Figure(I.15): Technologies de super condensateur…….19

Figure (I.16): Condensateurs mica argenté…….20

Figure(II.1) : Condensateur plan……..24

Figure(II.2) : Schéma équivalant d'un condensateur cylindrique…….24

Figure (II.3) : Condensateur à air variable - différentes valeurs de capacité…….25

Figure (II.4) : Condensateur céramique ……..27

Figure(II.5) : Photos de condensateurs plastiques polyester……28

Figure(II.6) : Photos de condensateurs au tantale…….30

Figure (II.7): Représentation schématique des types de polarisation……..……31

Figure (II.8) :(a) Condensateurs céramiques sous forme de disque…….34
(b) Condensateurs céramiques de pavé multicouches

Figure (II.9): Structure cristalline cubique de BaTiO3…….36

Figure (II.10) : Transitions de phases successives de BaTiO3…….36

Figure (II.11) : Evolution de la constante diélectrique en fonction de la température pour un cristal de BaTiO3 (Ba/Ti=0,95) recuite sous air à 850°C pendant 15 minutes suivi d'une trempe……..…37

Figure (II.12): Structure générale des condensateurs à films métallisés……38

Figure (II.13) : Modèle simplifié d'un condensateur film…….39

Figure(II.14) : Variation de la résistance équivalente série en fonction de la température ambiante……40

Figure(III.1): Logo de logicielle Comsol……43

Figure(III.2) : Diagramme des étapes de conception avec COMSOL……....44

Figure (III.3): Fenêtre principale de COMSOL-Multiphysique et la fenêtre "Select Space Dimension" en cascade…….45

Figure (III.4) : Fenêtre "Select Physique" Et "SlectStudy" De Comsol-Multphysics Cascade…….46

Figure(III.5) : l'interface d'utilisateur Sur Le COMSOL MULTIPHYSIQSIC…….47

Figure(III.6) : La barre de Home……47

Figure (III.7) :La barre de Définitions…….48

Figure (III.8) : La barre Geometry……..48

Figure (III.9): La barre Physics……..49

Figure(III.10) : La barre de Mesh……...49

Figure(III.11): Model Builder……50

Figure (III.12): Setting Geometry……51

Figure (III.13): Modèle de géométrie dans la fenêtre de "Graphics"…….51

Figure(III.14): Messages et résultats physiques…….52

Figure (III.15): Menu de dessin de la géométrie……53

Figure (III .16): Fenêtre des paramètres de plaque inférieure……53

Figure (III.17): Fenêtre des paramètres de plaque diélectrique……..54

Figure (III.18): Fenêtre des paramètres de plaque supérieure……54
Figure (III.19): Introduire l'équation de la permittivité en fonction de la température…..…55
Figure (III.20): Définir le voltage de plaque supérieure……55
Figure(III.21): Définir le voltage de plaque inférieure…….56
Figure(III.22) : Définir la valeur de la température T_0 d'entrée…….56
de première interface de diélectrique
Figure(III.23): Définir l'intervalle de température……....56
Figure (III.24): La forme d'un condensateur cylindrique 2D……57
Figure(III.25) : Représentation des caractéristiques de matériau diélectrique……59
Figure(III.26): Définir le matériau de conducteurs ……59
Figure(III.27) : Introduire la valeur de potentiel V_0.....60
Figure(III.28): Introduire la valeur de potentiel V_0 de 3^{eme} rectangle ……..60
Figure(III.29): Définir la valeur de la température T_0 d'entrée …….61
de première interface de diélectrique
Figure(III.30) : Définir la valeur de la température T_0 d'entrée …….61
de deuxième interface de diélectrique
Figure(III.31) : Variation de la permittivité relative en fonction de température à
T = 800 K…….....64
Figure(III.32): La variation de la Capacité en fonction de la pression (Pa)……....64
Figure (III.33): La variation de la Capacité en fonction de la température (K)……..…65
Figure(III.34) : La variation du potentiel électrique……65
Figure(III.35) : L'évolution de la capacité thermique en fonction de la température……..66
Figure(III.36): L'évolution de la densité fonction de la température……..67
Figure(III.37) : La variation du potentiel électrique section 2D…….67
Figure(III.38) : La variation du potentiel électrique section 3D…….67
Figure(III.39) : La variation du potentiel électrique coupe transversale…….68
Figure (III.40) : Le changement de transfert thermique à l'intérieur de diélectrique ……68
Figure (III.41) : Conteur isotherme…….69
Figure (III.42): L'évolution de la capacité thermique fonction de la température
Figure(III.43): La variation du potentiel électrique en fonction de l'épaisseur du diélectrique……69
Figure(III.44): La variation de la permittivité relatives en fonction de la température……70

Liste des tableaux

Tableau (1.1) : donne une comparaison des différentes caractéristiques des matériaux diélectriques les plus utilisés

Tableau (II.1) : regroupe quelques caractéristiques de BaTiO3.

Tableau (II.2) : Propriétés électriques d'une céramique BaTiO3-δ-TiCl3 (Ba/Ti=0,95) recuite sous air à 850°C pendant 15 minutes suivi d'une trempe (température ambiante, 1kHz)

Tableau(III.1) : Dimensions des rectangles

Tableau(III.2) : Les paramètres localisés

Tableau (III.3) : Les données et expressions localisés

Liste des symboles et abréviations

$\boldsymbol{\varepsilon_r}$: Permittivité relative du diélectrique (sans dimension)

A : surface de contact anode-diélectrique en m²

d : épaisseur du diélectrique en m.

$\boldsymbol{\varepsilon_0}$: permittivité absolue du vide (F/m)

$\boldsymbol{C_{AK}}$: capacité idéale entre anode et cathode

$\boldsymbol{R_p}$: résistance parallèle représentant les pertes dans le diélectrique.

$\boldsymbol{R_l}$: résistance série des connexions des armatures et de l'électrolyte.

L : inductance équivalente série des connexions et des enroulements.

$\boldsymbol{R_{ES}}$: résistance équivalente série représentant toutes les pertes dans le composant.

$\boldsymbol{L_{ES}}$: inductance équivalente série.

Ω : étant la pulsation électrique.

e :est un coefficient constant (se diffère d'un matériau à l'autre).

$\boldsymbol{T_{ref}}$: Température de référence.

E : énergie (J)

Ea : énergie d'activation (eV)

Q : charge en coulomb (C)

U : tension (V)

Un : tension nominale en Volts

ω : pulsation électrique (rad/s)

δ: angle de perte (rad)

CAK : capacité idéale entre anode et cathode en farad (F)

C : capacité équivalente d'un condensateur série simplifié (F)

Z : Impédance en Ω

e : rigidité diélectrique (V/m)

H : hauteur intérieure du boîtier

D : diamètre intérieur du boîtier

V : volume intérieur du boîtier

Hi : hauteur du bobinage

Di : diamètre du bobinage

Vi : Volume du bobinage

Δ**V** : Volume libre à l'intérieur du condensateur

J : Densité de courant (A/m)

Cp : Marge supérieure entre cathode et papier

T : Température en °C

MEMS: Micro Electronic Mechanical Systems

EAD : Equations algébro-di_érentiels

EDO : Les équations aux dérivées ordinaires

PDE :Les équations aux dérivées partielles

Introduction générale

L'électronique moderne nécessite la présence d'appareillages de volume de plus en plus petits. La solution est de trouver un moyen pour réduire au maximum la taille des composants sans négliger d'augmenter leurs efficacités.

Parmi les composants électroniques qui jouent un rôle important dans le montage des circuits intégrés les condensateurs, qui ont vraiment dépassé leur rôle classique d'accumuler de charge, car elles peuvent être utilisées dans le filtrage de signaux et l'élimination de la composante continue à l'entrée des étages sensible à la composante continue. Une course est donc engagée pour augmenter l'efficacité de ces condensateurs. Tout d'abord, ça a été réalisé en jouant sur leurs facteurs géométriques selon leurs types. Donc, l'énergie stockée dépend fortement des dimensions des condensateurs plans ou cylindriques.

Actuellement, on place des matériaux diélectriques ayant une forte constante diélectrique entre les armatures du condensateur afin d'augmenter leurs efficacités qui sont utilisés dans l'industrie de la micro-électronique depuis plus de 50 ans, tels que le titanate de baryum BaTiO3,…?

Le Titane BaTiO3, possèdent une constante diélectrique (permittivité relative ε_r) en fonction de la température au tour d'un pic, ce qui est différent par rapport à d'autre matériaux, parfois elle est très élevée et malheureusement loin des températures d'utilisation des composants électroniques, alors il faut tenir compte du choix du matériau. L'insertion de ce type de matériau dans les condensateurs intégrés dans de tel circuit électronique provoque une non linéarité due aux différents phénomènes causé par (échanges électrostatique et de transfert thermique et thermodynamique ...etc).

Nous avons modélisé uncondensateur en deux formes cylindrique et plane pour résoudre et analyser notre problème qui consiste à l'étude de la variation de la permittivité relative en fonction de la température.

Dans ce condensateur ferroélectrique. Le but est de voir l'influence de la température sur les propriétés physiques du diélectrique (ferroélectrique), en d'autre terme sur le Comportement du condensateur, en utilisant la théorie de Landau, ainsi que certaines lois De la thermodynamique des diélectriques.

Dans notre travail on a développé, modélisé et simulé un condensateur par l'utilisation du logiciel COMSOL dans le but de simuler la variation de la permittivité relative en fonction de la température dans deux différents types de condensateur plane et cylindrique . La modélisation et la simulation présentent certains avantages distinctifs, ils nous permettentde réaliser de nombreux scénarios d'études complexes en un temps record. Le lancement de la production est par conséquent plus rapide et vous permet de vos positionner dans les temps

face à vos concurrents. La simulation a été faite sur deux types différents de condensateur (plan et cylindrique. Les travaux de recherche effectué sur le système serre se réfère au modèle mathématique concernant la variation de la permittivité relative en fonction de la température de (Gorza M-P and Ducloy M ,2006).

Ce travail, se compose de trois chapitres qui se présentent comme suit :

Premier chapitre : Nous exposons dans ce premier chapitre une généralité sur les condensateurs, La dépendance du choix du type de condensateur, Les domaines de électronique de leurs utilisations principales, Les propriétés générales des condensateurs et leurs caractéristiques électrique, Diélectrique et leurs caractéristiques ainsi l'influence de la température en fin on a terminé par une petite conclusion.

Deuxième chapitre : Pour le deuxième chapitre on a fourni des informations de base essentielles sur l'étude des caractéristiques des deux types de condensateurs (plane et cylindrique) tel que leurs composition et les caractéristique des matériaux utilisés dans cette dernière, Les types de condensateurs selon leurs forme aussi le type de matériau utilisé, on a aussi discuté dans ce chapitre sur l'effet de température sur diélectrique et la variation de ses paramètre et on l'a finalisé par une petite conclusion.

Troisième chapitre : Dans ce chapitre, on a décrit les modèles de connaissance physiques et dynamiques de notre modèle de condensateur plane et cylindrique, tel que on a commencé par une définition et une présentation de COMSOL (Comsol-Multiphysics), et on a cité le rôle de chaque fenêtre de son interface ansi les étapes et les procédures suites pour créer notre modèle de condensateur telque : Geometry Physics , Mesh Model , Builder Setting Geometry et en fin Messages et résultats physiques.Avec l'explication comment fait le couplage des paramètres du milieu interne de condensateur ainsi que les équations du modèle. On a présenté aussi les étapes de la modélisation et de la simulation du modèle de condensateurs, suivi par une simulation et résultats avec discussions sur les graphes obtenues en utilisant le COMSOL.

Brièvement ce chapitre est consacré essentiellement aux résultats de la simulation de la variation de la permittivité relative en fonction de la température ;, suivi de discussions, commentaires, le tout couronnée par une conclusion générale et des perspectives**.**

Chapitre I

Généralités sur les Condensateurs

1. Introduction

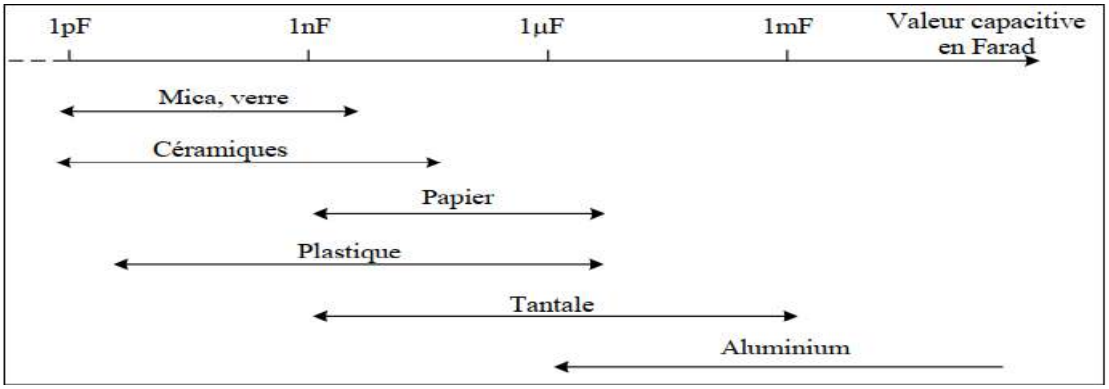
Les condensateurs appartiennent à la famille des composants passifs, et ils sont utilisés dans tous les domaines de l'électronique : télécommunications, informatique, automobile, spatial, grand public, etc. De façon très basique, Ces considérations permettent de les classer en trois grandes familles :

- condensateurs céramiques ;
- condensateurs électrochimiques ;
- condensateurs à film plastique.

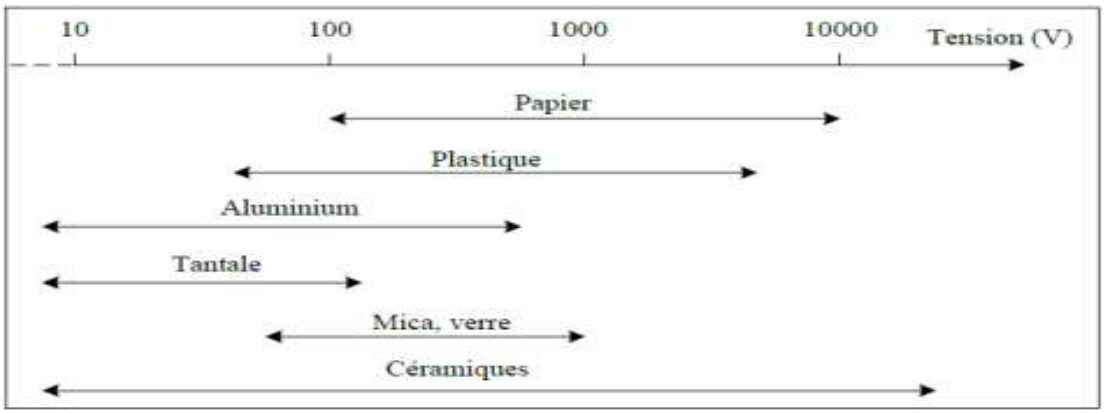
Le choix du type de condensateur dépend de l'application visée : il s'effectue non seulement en tenant compte de la valeur de la capacité recherchée mais aussi du comportement du diélectrique en fonction de la température, de la fréquence, de l'amplitude du signal à traiter, de la tension de polarisation, des contraintes climatiques, etc. Enfin, les technologies de mise en œuvre et de report, ainsi que les contraintes de fiabilité et de coût sont à considérer.

Les condensateurs sont utilisés dans de nombreux domaines de l'électronique, leurs utilisations principales sont les suivantes :[1.2]

- Stockage d'énergie (sauvegarde de données, protection de systèmes...).
- Correction du facteur de puissance.
- Régulation de la tension de sortie des alimentations à découpage.
- Filtrage d'entrée ou de sortie des convertisseurs statiques.
- Réduction des impédances des lignes.
- Protection, démarrage des moteurs électriques.
- Ect…..
- Les deux principaux facteurs à prendre en compte pour le choix d'un type de condensateur sont : la capacité et la tension d'utilisation du composant. Les Fig. I.1 et Fig. I.2 représentent les ordres de grandeur de capacité et tension en fonction du type de technologie des différents condensateurs présents sur le marché.



Figure(I.1): Famille de condensateur en fonction de leur capacité.



Figure(I.2) : Gamme de tension nominale pour différentes familles de condensateurs[1]

2. Propriétés générales des condensateurs

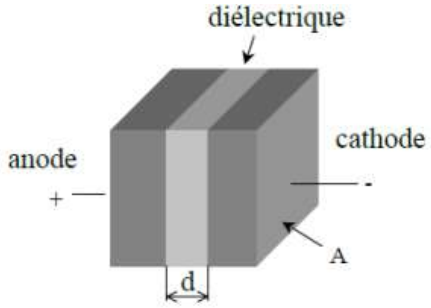
Un condensateur est un dispositif pouvant stocker de l'énergie électrostatique. Il est composé de deux plaques conductrices (électrodes) séparées par un matériel isolant (diélectrique). Quand une différence de potentiel est appliquée entre les deux plaques conductrices, une charge électrique proportionnelle à la tension appliquée et à la capacité s'accumule dans le condensateur

2.1Stockage d'énergie et capacité :

L'énergie ***E***, stockée dans un condensateur de capacité C_{AK}et alimenté par une tension U entre l'anode et la cathode, est donnée par la relation suivante :

$$E=\frac{1}{2}QU=\frac{1}{2}C_{AK}U^2 \qquad (I.1)$$

La figure (I.3) représente un condensateur plan :



Figure(I.3): Condensateur plan

La valeur de la capacité C_{AK} est directement proportionnelle à la surface de l'anode et inversement proportionnel à l'épaisseur du diélectrique :

$$C_{AK} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d} \qquad \text{(I.2)}$$

avec :

ε_0 = permittivité absolue du vide ($\varepsilon_0 = 8{,}854.10^{-12} F/m$)

ε_r = permittivité relative du diélectrique (sans dimension)

A = surface de contact anode-diélectrique en m²

d = épaisseur du diélectrique en m.

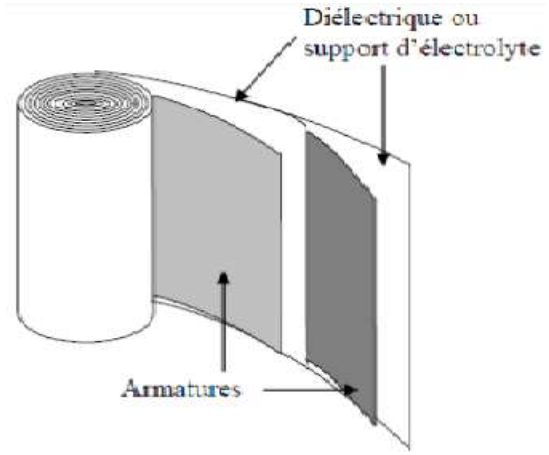
La valeur de la capacité d'un condensateur dépend donc fortement de la valeur de la constante diélectrique du matériau isolant utilisé et de l'épaisseur de ce celui-ci. Une autre des caractéristiques essentielles du diélectrique est sa tenue en tension fonction de son épaisseur.[5].

2.2Surface des armatures en regard :

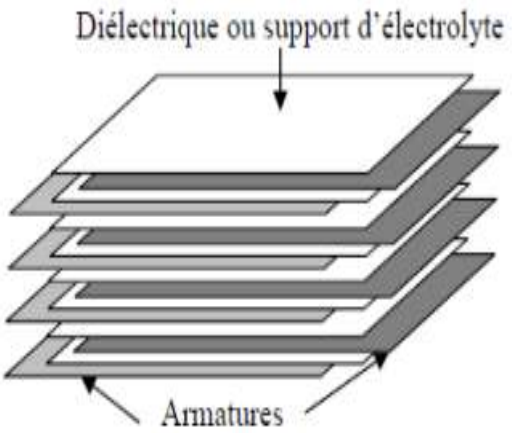
La dernière grandeur importante permettant d'accroître la valeur de la capacité est la surface des armatures en regard A. Pour obtenir une importante surface des armatures pour un volume donné de boîtier, deux procédés sont utilisés.

Le matériau diélectrique (ou du support d'électrolyte pour les condensateurs électrolytiques est bobiné avec les armatures (Figure I.4). Le boîtier utilisé est le plus souvent cylindrique ou éventuellement en forme de parallélépipèdes le bobinage est

aplati. Le matériau diélectrique est empilé avec les armatures en différentes couches pour insertion dans un boîtier en général parallélépipédique (Figure 1.5). Suivant le type et la technologie des condensateurs, il existe plusieurs possibilités de connexion entre elles des différentes couches de même nature.[1]



Figure(I.4) : Condensateur bobiné



Figure(I.5) : Condensateur sous forme parallélépipédique

Notons que la capacité C_{AK} d'un condensateur cylindrique à une seule couche ayant une longueur l, des armatures de rayons r1 et r2 (Figure(1.6)) est donnée par l'expression suivante:

$$C_{AK}=\frac{2\pi\varepsilon_r\varepsilon_0}{\ln\left(\frac{r2}{r1}\right)} \qquad (I.3)$$

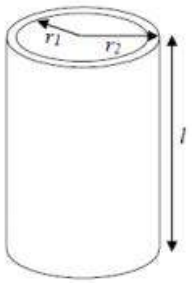


Figure (I.6) : Condensateur cylindrique à une couche.

En général, la différence r2-r1, correspondant à l'épaisseur e du diélectrique, est petite devant r1. L'expression (I.4) peut donc s'écrire ainsi :

$$c_{AK}=\frac{2\pi\varepsilon_r\varepsilon_0}{\ln\left(\frac{r2}{r1}\right)}=\frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}{r2-r1}=\frac{\varepsilon_0\varepsilon_r S}{l} \qquad (I.4)$$

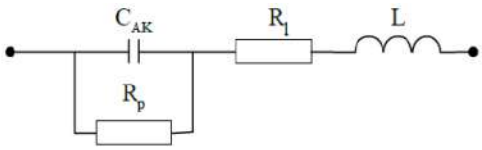
Avec $e=r_2-r_1$ et $s=2\pi r_1$.correspondant la surface des électrodes

La capacité C_{AK} d'un condensateur cylindrique est donc assimilable à celle d'un condensateur plat. Pour les condensateurs électrolytiques à l'aluminium, la surface de l'armature sur laquelle est déposé par électrolyse l'oxyde est gravé, ce qui permet d'avoir une surface effective plus importante que la surface apparente. Le facteur multiplicatif entre la surface apparente et la surface réelle S peut aller de 20 à 100 suivant la gamme de tension des condensateurs. Notons que la qualité de la gravure a une influence importante sur la capacité du condensateur et qu'elle détermine en grande partie sa marge de tolérance

2.3Les caractéristiques électrique

2.3.1. Schémas électriques équivalent

Le schéma équivalent d'un condensateur peut être mis sous différentes formes. Un des modèles les plus utilisé est représenté sur la Figure(I.7) :



Figure(I.7) : Schéma équivalent d'un condensateur.

Avec :

C_{AK} = capacité idéale entre anode et cathode

R_p = résistance parallèle représentant les pertes dans le diélectrique

R_l = résistance série des connexions des armatures et de l'électrolyte

L = inductance équivalente série des connexions et des enroulements.

La capacité C_{AK} est fonction de la constante diélectrique ainsi que de la surface des électrodes et de l'épaisseur du matériau diélectrique employé.

Elle dépend principalement de la température et de la tension. La résistance R_p varie en fonction de la tension appliquée à ses bornes et de la température. La résistance R_l ainsi que l'inductance L varient en fonction de la température. Nous pouvons

simplifier ce schéma selon la représentation normalisée de la Figure (I.9) qui ne prend pas en compte la résistance Rp représentant principalement le courant de fuite :

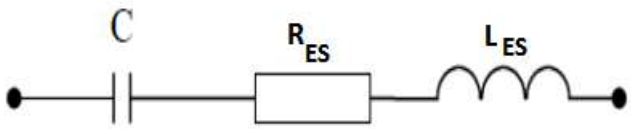


Figure (I.8) : Schéma équivalent série simplifié du condensateur.

Avec :

C = capacité.

R_{ES} = résistance équivalente série représentant toutes les pertes dans le composant.

L_{ES} = inductance équivalente série.

Ces trois valeurs sont dépendantes de la fréquence ainsi que de la température du condensateur. Ce modèle est utilisé pour un fonctionnement en filtrage, c'est aussi le modèle définissant les valeurs nominales du condensateur.

L'identification des impédances (Z_a et Z_b) des deux schémas équivalents précédents nous permet d'établir les relations suivantes entre les paramètres :

$$Z_b = \frac{R_1+R_P+R_1R_p^2C_{AK}^2\omega^2}{1+R_1R_p^2C_{AK}^2w^2} + j\,\frac{Lw-C_{AK}R_p^2\ \omega+L.C_{AK}^2.R_p^2\ .\omega^3}{1+C_{AK}^2.R_p^2\omega^2} \qquad (I.5)$$

$$Z_b = R_{ES} + j.(R_{ES} - \frac{1}{C.\omega}) \qquad (I.6)$$

$$C = C_{AK} + \frac{1}{C_{AK}.\omega^2R_p^2} \qquad (I.7)$$

$$L_{ES} = L \qquad (I.8)$$

ω : étant la pulsation électrique.

En négligeant ($L_{ES}.\omega$), on exprime aussi un autre paramètre qui est la tangente de l'angle de perte définie par :

$$\tan\delta = R_{ES}\,.\,C.\,\omega \qquad (I.9)$$

Le diagramme de Fresnel représenté sur la Fig. ..Indiquant l'angle de perte δ :

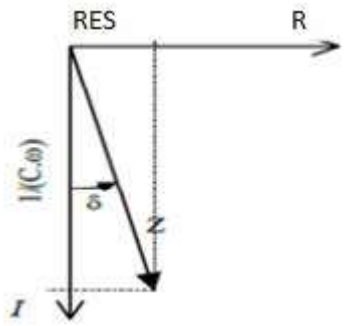


Figure (I. 9) : Diagramme de Fresnel.

Pour effectuer la caractérisation en fréquence d'un condensateur, on peut négliger la résistance R_p si sa valeur et la fréquence de mesure sont suffisamment grandes.

La Figure I.9 montre l'influence deR_p en fonction de la fréquence sur les valeurs de C et ESR pour un condensateur électrolytique ayant une capacité nominale de 4,7mF et une résistance équivalente série nominale de 20mΩ.

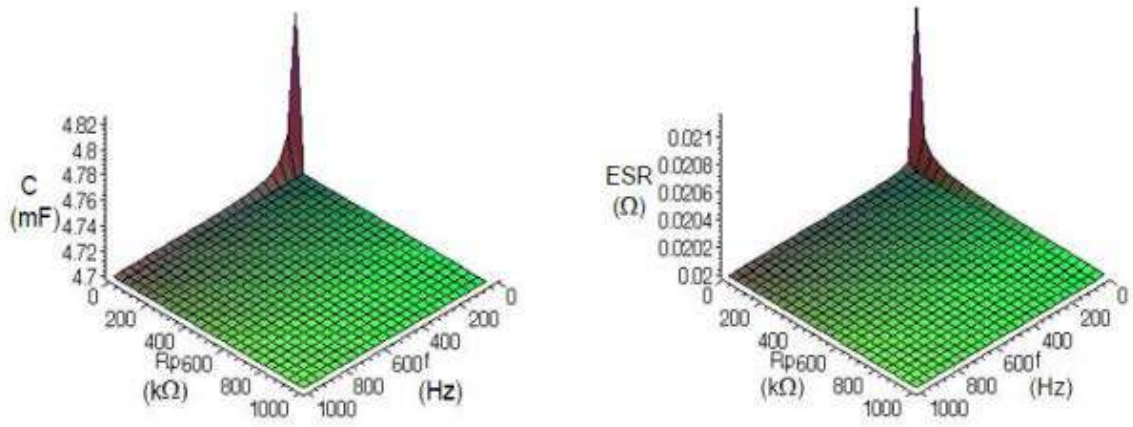


Figure.(I.10) : Influence de R_p en fonction de la fréquence f sur C et R_{ES} [1]

Les deux graphiques ci-dessus montrent que suivant les valeurs du couple R_p, f, l'approximation selon la Fig.I.10 est valable pour les mesures en fréquence.

La résistance R_p représentant la résistance d'isolement du condensateur est fonction de la tension continue à ses bornes, de la température et du temps de polarisation. Cette résistance induit un courant appelé courant de fuite qui dépend des mêmes paramètres. Les ordres de grandeurs de ce courant sont variables selon le type de diélectrique et la technologie du condensateur.Pour une utilisation des condensateurs

en stockage d'énergie, le schéma équivalent de laFigure. (I.6)peut être simplifié par le schéma de la Figure (I.10) L'inductance L peut être négligée ainsi que la résistance R_l petite devant Rp. C'est le schéma utilisé en continu.

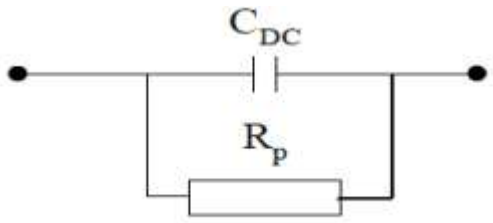


Figure (I.11) : Schéma équivalent simplifié en continu.

2.3.2.Résistance de fuite diélectrique (R_p) :

Le diélectrique d'un condensateur a une grande résistance, ce qui empêche l'écoulement du courant continu. Cependant, certaines zones défectueuses dans le diélectrique permettent le passage d'une petite quantité de courant, appelée courant de fuite. Les zones permettant l'écoulement du courant sont dues à de petits sites d'impuretés en feuille qui ne sont pas homogènes, et le diélectrique formé sur ces impuretés ne crée pas une liaison forte. Ces liaisons se décomposent lorsque le condensateur est exposé à des tensions continues élevées, et par conséquent le courant de fuite augmente. Le courant de fuite est également déterminé par les facteurs suivants :

• Valeur de capacité.

• Tension appliquée par rapport à la tension nominale.

• Histoire précédente.

Le courant de fuite est proportionnel à la capacité et diminue au fur et à mesure que la tension est réduite. Si le condensateur a été à des températures élevées sans tension appliquée pendant une période prolongée, une certaine dégradation du diélectrique oxyde peut avoir lieu, ce qui entraînera un courant de fuite plus élevé. Habituellement, ces dommages seront réparés lorsque la tension est réappliquée.

2.3.3.Résistance série équivalente (R_{ES}) :

R_{ES} conduit à la génération de chaleur dans le condensateur à cause d'ondulation du courant AC. L'équation équivalente pour ESR est montrée en (1.11).

$$R_{ES} = R1+R2+R3 \qquad (I.10)$$

Où

R1 = Résistance sensible à la fréquence résultant de l'épaisseur d'oxyde

R2 = Résistance sensible à la température à la suite de l'électrolyte

R3 = Résistance à cause des composants suivants :

• Longueur de la feuille

• Onglets

• Des fils conducteurs

• Résistance de contact ohmique

L'effet de la partie dépendant de la fréquence, R1, apparaît dans les multiplicateurs de courant d'ondulation fournis par les constructeurs. Cet effet est provoqué par les pertes d'énergie dans l'alignement des dipôles dans le diélectrique, et le temps nécessaire à l'orientation des dipôles. Il devient plus important pour les condensateurs à tension plus élevée, car leur couche d'oxyde est plus épaisse. Pour les applications avec un courant d'ondulation à une seule fréquence, l'ESR peut être simplement ajusté en utilisant un multiplicateur. La quantité de chaleur générée par le courant d'ondulation dépend de l' R_{ES} du condensateur. Pour avoir une ESR faible, il est nécessaire de contrôler les caractéristiques de l'électrolyte, le papier séparateur, l'alignement d'enroulement de l'élément, la position des pattes, et le grossissement et la construction de la fosse de la feuille gravée. Tous ces facteurs contribuent à l'ESR du condensateur. La combinaison parallèle de Rp et C modélise la couche d'oxyde diélectrique du condensateur.

2.3.4.Influence de la température :

Les principales caractéristiques des condensateurs sont en général dépendantes de la température, de la fréquence et de la tension. La dépendance à la température est très variable selon le type de diélectrique et la technologie de fabrication du composant. Par exemple pour les condensateurs électrolytiques les températures d'utilisation sont limitées par l'électrolyte et non par le diélectrique. Les valeurs de températures minimum et maximum d'utilisation sont fixées selon deux critères : la tenue des matériaux aux températures spécifiées et les limites de variation des valeurs électriques du composant.[2]

2.3.5.Courant de fuite et résistance d'isolement :

Les matériaux diélectriques des condensateurs ne sont pas des isolants idéaux ; ils peuvent laisser passer un faible courant continu de fuite pour diverses raisons spécifiques à chaque type de diélectrique. La tension aux bornes d'un condensateur chargé chutera lentement à mesure que le courant de fuite évacuera sa charge.

En général, la résistance d'isolement tend à diminuer à mesure que les valeurs de capacité augmentent.

Le courant de fuite augmente avec la hausse de la température. La relation entre le courant de fuite (LC) et la résistance d'isolement (IR) du diélectrique du condensateur est donnée par la formule simple :

$$I(LC) = V/R(IR) \quad (I.11)$$

2.3.6.Comportement de charge/décharge :

Lorsqu'une tension continue est appliquée à un condensateur en série avec une résistance, le condensateur se charge à une vitesse déterminée par la tension appliquée, l'état de charge par rapport à sa valeur finale, la résistance série ainsi que sa propre capacité. Le produit résistance-capacité, RC, est connu comme la constante de temps du circuit. Pour être précis, la constante de temps RC est le temps nécessaire pour charger le condensateur à 63,2 % [5] de la différence entre les valeurs initiale et finale. La même valeur RC régit également le temps nécessaire pour décharger le condensateur à travers la résistance série.

2.3.7.Rigidité diélectrique :

Une propriété fondamentale d'un matériau diélectrique est sa rigidité diélectrique. Cette propriété est caractérisée par son champ disruptif et par l'épaisseur du diélectrique e.

$$e_{min} = \frac{u_n}{ev} \qquad \text{(I.12)}$$

En effet, au-delà d'une certaine valeur de champ électrique que peut supporter le diélectrique, le claquage de ce dernier survient. Cette caractéristique varie d'un diélectrique à l'autre selon ses propriétés physiques et mécaniques.

Le Tableau (1.1), donne une comparaison des différentes caractéristiques des matériaux diélectriques les plus utilisés :[8]

Condensateur	Diélectrique		Permittivité relative ε_r à 1 *kHz* et 20°C	Rigidité diélectrique e_v (*kV/mm*)	Facteur de pertes *tanδ* à 1 *kHz* ($x10^{-3}$)	Résistivité ρ ($\Omega.cm$)	Température maximum d'utilisation T_{max} (°C)	Epaisseur minimum e_{min} (μm)
Céramique, mica, verre	Mica		6-8	200-240	0.5-2	10^{15}-10^{16}	250	8-10
	Verre		7-20	300-400	10-20	10^{13}-10^{14}	400	50-300
	Céramique		6-25000	3-150	0.1-20	10^{7}-10^{13}	85-300	2-300
Film	Papier		2-6	60	0.5-10	10^{7}	105	5-14
	Plastique	PET	3.3	295	4-5	10^{17}	125	0.7
		PEN	3	470	6	10^{18}	135	1.2
		PP	2.2	300	0.1	10^{15}	110	3
		PPS	3.1	300	0.5	10^{16}	175	1.2
Electrolytique	Oxyde d'alumine		10	700	100	10^{9}	105	1.4 nm/V
	Oxyde de tantale		27	800	10-100	10^{9}	175	1.4 nm/V

L'utilisation d'un diélectrique donné sous une tension appropriée peut permettre l'obtention de forte capacité. Le constant diélectrique associé est donc un facteur clef de cette capacité. Notons que les condensateurs céramiques possèdent une très forte valeur de permittivité relative mais malheureusement, l'épaisseur minimale du diélectrique est relativement importante (tableau I.1)

Cela nous amène à aborder la deuxième grandeur dimensionnant de la capacité, à savoir l'épaisseur du diélectrique. Les condensateurs à film ont un bon comportement aux courants et tensions élevés. Les condensateurs électrolytiques possèdent une épaisseur de diélectrique faible donc une capacité volumique élevée. Par contre, leurs caractéristiques sont fortement dépendantes de la température et du temps de vieillissement. Les condensateurs céramiques peuvent avoir une très forte valeur de permittivité relative mais ne peuvent posséder des couches fines de diélectrique. De plus leur tenue en température est mauvaise. Notons qu'il existe trois classes différentes en fonction de la constante diélectrique. Les condensateurs au mica utilisés pour les faibles valeurs de capacité ont une très bonne tenue en température. Ils sont parfois remplacés par les condensateurs au verre compte tenu de leurs coûts.

2.3.8. Epaisseur du diélectrique :

L'épaisseur du diélectrique est un élément déterminant de la valeur de la capacité. En effet, nous constatons sur le tableau I.1) que les condensateurs électrolytiques qui peuvent avoir une épaisseur minimale de diélectrique e_{min} jusqu'à 1000 fois inférieure aux autres composants possèdent une très forte capacité en comparaison de ceux-ci. L'importance de cette épaisseur sera de nouveau mise en évidence plus tard, lors de la présentation des super-condensateurs qui possèdent une très forte capacité grâce à une épaisseur équivalente à e_{min} définie par l'épaisseur de la double couche électrique assimilable au diamètre des molécules du solvant de l'ordre de quelques dixièmes à quelques nanomètres

2.3.9. Dissipation de l'énergie :

Lorsqu'une tension alternative est appliquée dans un condensateur, le courant circule à travers son matériau diélectrique et ses parties conductrices. En pratique, une partie de ce courant est dissipée dans la faible résistance du condensateur. Cette dissipation se manifeste par une augmentation de la température du condensateur. La résistance globale du condensateur, appelée résistance série équivalente (ESR), est la somme de deux éléments :

- Résistance du matériau diélectrique
- Résistance des pièces conductrices

2.3.10. Inductance :

Les électrodes et les fils de raccordement ou les terminaisons d'un condensateur sondes conducteurs métalliques, auxquels est associée une certaine inductance. Cette inductance tendance à résister aux variations du courant alternatif à travers le condensateur. Elle est connue sous le nom d'inductance série équivalente ou ESL.

2.4. Les type des condensateurs :

a. Les condensateurs à Film :

Les condensateurs à film utilisent un film plastique mince comme diélectrique ; celui-ci peut être métallisé ou non traité, selon les propriétés requises du condensateur. Ces types offrent stabilité, faible inductance et faible coût. Différentes versions de films sont disponibles : polyester, métallisé, polypropylène, PTFE et polystyrène. Les capacités vont de moins de 1 nF à 30 µF.

Ces types de condensateurs sont non polarisés, ce qui les rend appropriés pour les applications de signaux et de puissance en courant alternatif. Les condensateurs à film peuvent avoir des valeurs de condensateurs de très haute précision, qu'ils conservent plus longtemps quelles autres types de condensateurs. Ils sont très fiables et ont une longue durée de vie, avec un processus de vieillissement généralement plus lent que d'autres types tels que l'électrolytique [6]

Ils ont de faibles valeurs ESR et ESL, donc de très faibles facteurs de dissipation. Ils peuvent être conçus pour résister à des tensions de l'ordre du kilovolt et fournir des impulsions de courant de surcharge très élevées.



Figure(I.12) : Condensateurs à film polyester

b**. Les condensateurs Céramique :**

Les condensateurs céramiques utilisent un matériau céramique comme diélectrique. Le condensateur à puces multicouches (MLCC) et le condensateur à disque céramique sont les types les plus couramment utilisés dans l'électronique moderne. Les MLCC sont fabriqués selon
la technologie de montage en surface (SMT) et sont largement utilisés en raison de leur petite taille. Les valeurs de capacité se situent généralement entre 1 nF et 1 µF, bien que des valeurs allant jusqu'à 100 µF soient disponibles. Ils ne sont pas polarisés et peuvent donc être utilisés dans des circuits AC. Ils ont une grande réponse en fréquence due à de faibles effets parasitaires résistifs et inductifs.[6]

Il existe aujourd'hui deux classes de condensateurs céramiques : la classe 1 et la classe2, les condensateurs céramique de classe 1 sont utilisés lorsqu'une grande stabilité et de faibles pertes sont requises. Ils sont très précis et la valeur de la capacité est stable en ce qui concernera tension, la température et la fréquence appliquées.

Les condensateurs de classe 2 ont une capacité élevée par volume et sont utilisés pour des applications moins sensibles. Leur stabilité thermique est typiquement de ± 15 % dans la plage de température de fonctionnement et les tolérances des valeurs nominales sont d'environ20 %.

Les MLCC offrent des compacités élevées pour le montage des circuits imprimés, bien qu'il existe également des composants céramiques plus gros qui peuvent résister à des tensions de 2 kV à 100 kV, avec une puissance nominale supérieure à 200 VA.



Figure(I.13): Condensateur céramique

c. Les condensateurs Électrolytique :

Les condensateurs électrolytiques utilisent un électrolyte pour fournir une plus grande valeur de capacité que les autres types de condensateurs. Presque tous les condensateurs électrolytiques sont polarisés, ils doivent donc être utilisés dans des circuits DC et correctement polarisés. Les condensateurs électrolytiques peuvent être soit des électrolytes humides, soit des polymères solides.

Ils sont généralement fabriqués en tantale ou en aluminium. Les condensateurs en aluminium ont généralement des capacités comprises entre 1 µF et 47 mF, avec une tension de fonctionnement allant jusqu'à quelques centaines de volts DC. Cependant, les super condensateurs, parfois appelés condensateurs à double couche, sont également disponibles avec des capacités de centaines ou de milliers de farads.[6]

Les inconvénients comprennent des courants de fuite importants, de grandes valeurs de tolérance généralement de 20 %.une résistance de série équivalente et une durée de vie limitée. Les valeurs de capacité dérivent également au fil du temps. Les condensateurs peuvent surchauffer ou même exploser s'ils sont soumis à des tensions de polarité inverse.[7]

Les condensateurs électrolytiques sont utilisés dans des applications qui ne nécessitent pas de tolérances restreintes et de polarisation AC, mais qui nécessitent des valeurs de capacité élevées. Il peut s'agir, par exemple, d'étages de filtrage dans les alimentations pour éliminer l'ondulation AC, ou d'un filtre passe-bas pour les signaux DC ayant une faible composante AC pour le lissage d'entrée et de sortie

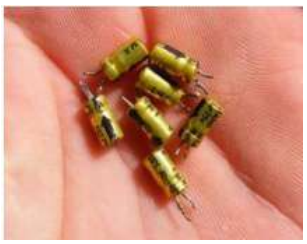


Figure (I.14) :Condensateur électrolytique

d**. Les Supercondensateurs :**

Les supercondensateurs sont un type de condensateurs électrolytiques, comme décrit ci-dessus. Ils peuvent stocker de très grandes quantités d'énergie électrique en utilisant deuxmécanismes : la capacité double couche et la pseudo-capacité. Le premier est électrostatique, tandis que le second est électrochimique, de sorte que les supercondensateurs combinent les caractéristiques des condensateurs normaux avec celles des batteries ordinaires.

En fait, ils sont utilisés comme alternatives aux batteries dans de nombreusesapplications, y compris les systèmes de récupération d'énergie cinétique automobile (KERS),les flashs photographiques et les mémoires RAM statiques. Les possibilités d'avenircomprennent les téléphones portables, les ordinateurs portables et les voitures électriques ; leurplus grand avantage est leur taux de recharge très rapide, qui permet de recharger une voiture électrique en quelques minutes.

Cette technologie permet d'atteindre des valeurs de capacité jusqu'à 12000 F. [7]. Ils ontdes temps de charge et de décharge très rapides, comparables à ceux des condensateurs ordinaires, en raison de leur faible résistance interne. En revanche, les batteries peuvent prendre jusqu'à plusieurs heures avant d'être complètement chargées. Les supercondensateurs ont également des puissances spécifiques 5 à 10 fois supérieures à celles des batteries, par exemple 10 kW/kg contre 1 à 3 kW/kg pour les batteries Li-ion. Les supercondensateurs ne chauffent pas autant que les batteries lorsqu'ils sont maltraités et ont une durée de vie pratiquement illimitée, contrairement aux batteries qui disposent généralement d'environ 500 cycles ?.

Les inconvénients des supercondensateurs comprennent une faible énergie spécifique (Wh/kg), une tension de décharge linéaire (un supercondensateur conçu pour une sortie de 2,7 V tomberait à 1,35 V à une décharge de 50 %, par exemple) et des coûts élevés. Cela a empêché jusqu'à présent le remplacement des batteries par des supercondensateurs dans la plupart des applications.[7]

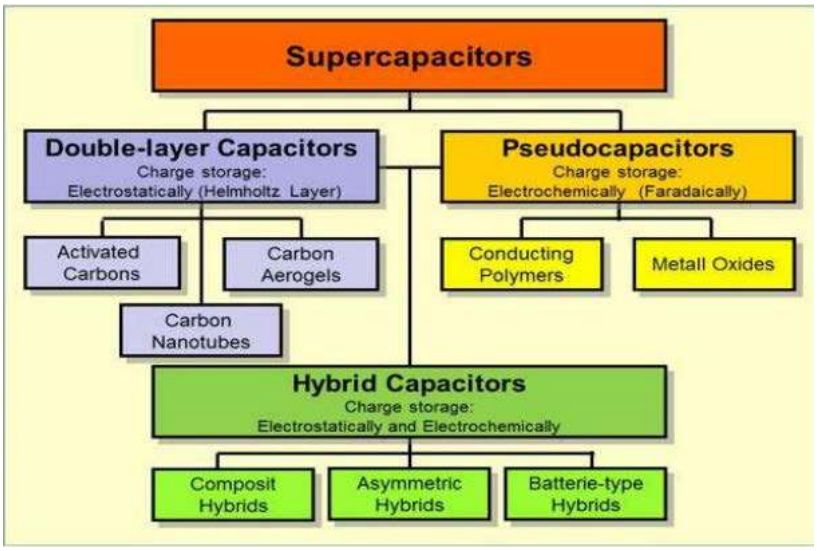


Figure (I.15): Technologies de super condensateur

e. Les condensateurs Mica :

Les condensateurs mica aujourd'hui sont des condensateurs mica argenté, fabriqués en interposant des feuilles de mica recouvertes de métal sur les deux faces. Les valeurs de capacité sont faibles, généralement de quelques pF à quelques nF, bien que les plus grands types mica

puissent atteindre 1 µF. Les tensions nominales sont généralement de 100 à 1000 volts, bien que certains condensateurs puissent atteindre 10 kV pour les applications d'émetteurs RF. Ils sont également utilisés dans d'autres applications hautes tension, en raison de leur tension de claquage élevée.

Les condensateurs mica aujourd'hui sont des condensateurs mica argenté, fabriqués eninterposant des feuilles de mica recouvertes de métal sur les deux faces. Les valeurs de capacitésont faibles, généralement de quelques pF à quelques nF, bien que les plus grands types micapuissent atteindre 1 µF. Les tensions nominales sont généralement de 100 à 1000 volts, bienque certains condensateurs puissent atteindre 10 kV pour les applications d'émetteurs RF. Ilssont également utilisés dans d'autres applications hautes tension, en raison de leur tension de claquage élevée.[7]



Figure (I.16): Condensateurs mica argenté

f**. Les condensateurs en Verre :**

Les condensateurs en verre sont utilisés dans les circuits RF où la performance ultime est requise. Ils offrent un faible coefficient de température sans hystérésis, un taux de vieillissement nul, aucun bruit piézoélectrique et des pertes extrêmement faibles. Ils ont également une grande capacité de courant RF, avec des températures de fonctionnement élevées, atteignant souvent 200 °C[7].

g. Les condensateurs à Traversée :

AVX propose une gamme de condensateurs à traversée, disponibles en taille standard 0805 et 1206. Ces condensateurs sont des choix idéaux pour la suppression des interférences électromagnétiques, le filtrage des E/S à large bande ou le conditionnement des lignes électriques V DC. La construction unique d'un condensateur à traversée fournit une faible inductance parallèle et offre une excellente capacité de découplage pour tous les environnements à haute di/dt et permet une réduction significative du bruit dans les circuits numériques jusqu'à 5 GHz. AVX propose des condensateurs à traverser de qualité automobile conformes à la norme AEC-Q200. Ces condensateurs sont disponibles en diélectriques NP0 et X7R avec des options de terminaisons incluant Ni et Sn plaqués.[6]

Conclusion :

Le choix d'un type de condensateur et de ces caractéristiques dépend de l'application dans lequel il est intégré. Les composants les plus aptes à remplir cette fonction compte tenu de leur forte capacité volumique sont des condensateurs.

Dans ce premier chapitre, nous avons brièvement passé en revue la construction, les caractéristiques électriques et le fonctionnement et différents types de condensateurs. En outre, une description a été présentée de divers types de défauts qui peuvent se produire dans un condensateur.

Chapitre II

Caractéristique des Condensateurs plans et cylindriques

1. Introduction

Le diélectrique joue un rôle important dans la fabrication d'équipements électriques haute tension (câble, transformateur, condensateur ...). C'est souvent soumis à des contraintes importantes qui peuvent contribuent à une dégradation spécifique en particulier la diminution de la rigidité et aussi la dégradation susceptible de mettre hors service le matériel d'isolation. Le diélectrique n'est pas seulement soumis à des conditions physiques et chimiques mais aussi aux conditions électriques et mécaniques**.**

Dans ce chapitre, nous nous occuperons de l'effet de température sur les d'électrique du condensateur plant et cylindrique.

II.2. Caractéristiques des condensateurs plans et cylindriques

2.1. Condensateur plan :

Soit un condensateur plan (figure(II.1)), constitué de deux conducteurs plans, portant respectivement des charges +*Q* et -*Q*, de surfaces S, séparés par une distance *e*. Du fait de la symétrie de la distribution, le champ électrique entre les armatures de ce condensateur est uniforme, il est donné par :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon_r} \qquad \text{(II.1)}$$

La répartition de charge étant uniforme, on a :

$$\sigma = \frac{Q}{S} \qquad \text{(II.2)}$$

Q est la charge du condensateur. En choisissant l'axe $xo^{\rightarrow}$selon la normale aux plans (figure II.1), nous avons :

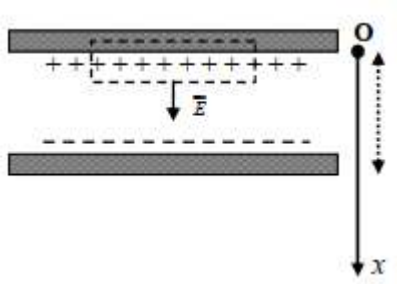
$$-dV = \bar{E}\bar{dl} = Edx \qquad \text{(II.3)}$$

Soit, en faisant circuler le champ entre les deux armatures :

$$V = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon_r} e = \frac{Q}{s\varepsilon_0 \varepsilon_r} e \qquad \text{(II.4)}$$

Or *Q* =*CV* , d'où la capacité d'un condensateur plan :

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r S}{e} \qquad \text{(II.5)}$$



Figure(II.1) : condensateur plan

N.B : Cette(II.5) formule n'est valable que pour des condensateurs dits plans, il existe également des condensateurs cylindriques (à ne pas confondre avec les condensateurs enroulésqui restent plans comme cela sera expliqué plus tard) ou sphériques pour lesquels la formulediffère mais ces derniers ne sont pas traités dans ce rapport et restent très marginaux. Ils se rencontrent d'ailleurs plutôt dans des exercices théoriques que dans des applications réelles.[9]

2.2Condensateur cylindrique :

Un condensateur cylindrique est constitué de deux armatures cylindriques de rayons différents est positionnés, d'une manière coaxiale, l'une à l'intérieur de l'autre. La surface extérieure peut être quelconque. Si les cylindres sont indéfinis, le champ en un point est, par raison de symétrie, dirigé suivant la direction $\overrightarrow{e_r}$ du système cylindrique de la figure (II.2).[10]

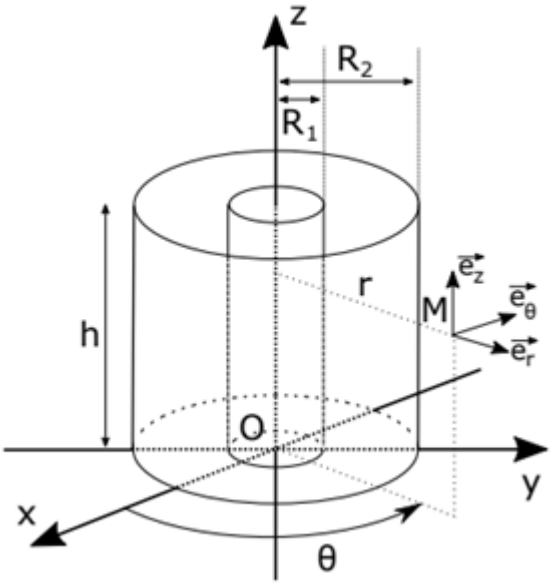


Figure (II.2) :schéma équivalant d'un condensateur cylindrique

1) On se place en coordonnées cylindriques (r, θ, z), dans la base ($\overrightarrow{e_r}$, $\overrightarrow{e_\theta}$, $\overrightarrow{e_z}$). Le champ électrique s'écrit donc :

$$\vec{E}(r,\theta,z) = \begin{vmatrix} E_r(r,\theta,z) \\ E_\theta(r,\theta,z) \\ E_z(r,\theta,z) \end{vmatrix} \qquad \text{(II.6)}$$

$$\vec{E}(r,\theta,z) = E_r(r)\overrightarrow{e_r} = E_r(r)\overrightarrow{e_r} \qquad \text{(II.7)}$$

$$\vec{E}(r,\theta,z) = E_r(r)\overrightarrow{e_r}\ avec: E_r(r) = \begin{cases} \frac{Q}{2\pi h\varepsilon_0}\frac{1}{r} & \text{si} R_1 < \text{ r} < R_2 \\ 0 \text{ sinon} \end{cases} \text{(II.8)}$$

2) Les potentielles inter-armatures : Soit M1 (R1, θ, z) un point appartenant à l'armature interne et M(r, θ, z) un point entre les deux armature

$$V(M) - V(M_1) = -\int_{R_1}^{r} \vec{E}\overrightarrow{dl} = -\int_{M_1}^{r} E(r')\,dr' = -\int_{R_1}^{r} \frac{Q}{2\pi h\varepsilon_0}\,dr' = -\frac{Q}{2\pi h\varepsilon_0}\ln\left(\frac{r}{R_1}\right) \quad \text{(II.9)}$$

Et comme V (M1) = V1, donc

$$V(M) = V(r) = V_1 - \frac{Q}{2\pi h\varepsilon_0}\ln\left(\frac{r}{R_1}\right) \text{(II.10)}$$

3) la capacité :

On sait que : Q = CU où U = V1 − V2 est la différence de potentiel aux bornes du condensateur. De plus V2 = V (R2) donc :

$$V_1 - V_2 = \frac{Q}{2\pi h\varepsilon_0}\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)$$

D'après la question précédente.

On obtient donc :

$$C = \frac{Q}{V_1 - V_2} = \frac{2\pi h\varepsilon_0}{\ln(\frac{R2}{R1})} \text{(II.11)}$$

4) donc

$$\ln\frac{R_2}{R_1} = \ln\left(1 + \frac{e}{R_1}\right) \approx \frac{e}{R_1} \text{(devloppementlimite à l}'\text{ordre1 en } \frac{\text{e}}{\text{R}_1}$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_1 + e}{R_1} = 1 + \frac{e}{R_1}\ avec\ \frac{e}{R_1} \ll 1$$

Donc :

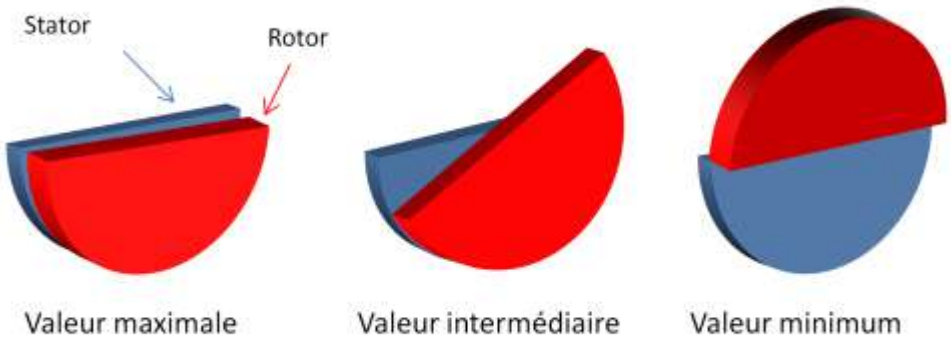
$$C = \epsilon_0 \frac{2\pi R_1 h}{e} \qquad \text{(II.12)}$$

N.B. Un matériau diélectrique, placé entre les armatures, permet d'augmenter la capacité d'un condensateur,sa permittivité εétant nettement supérieure à celle du vide ε_0.La permittivité relative $\varepsilon_r = \varepsilon / \varepsilon o$ vaut environ: 2 (papier) ; 2,25 (polyéthylène) ; 2,4 (polystyrène) ; 5 (verre) ; 6 (mica) ; 18 (téflon). Car, εr varie en fonction de la température, de l'humidité et de la fréquence de la tension appliquée.

3.Les condensateurs non polarisés :

3.a. Condensateurs à air :

Synonyme de simplicité de conception, les condensateurs à air utilisent ce dernier en guise d'isolant. Cette particularité amène toutefois naturellement le défaut de pré-sente une valeur de capacité très faible (de l'ordre de la centaine de pF), l'écart entre les deux électrodes devant respecter une valeur de sécurité relativement importante pour éviter les courts-circuits. De plus, une rigidité mécanique doit être assurée pour la même raison. Leur utilisation aujourd'hui marginale est surtout observée pour des applications demandant une capacité variable, par exemple la compensation d'une sonde d'oscilloscope ou bien à l'époque des anciens postes radios. En effet, étant donné qu'il n'y a aucun contact entre les deux électrodes, il est aisé de faire varier sans frottement les surfaces en regard comme présenté sur la figure 1.4 et ainsi faire varier la capacité.[11]



Figure(II.3) Condensateur à air variable - différentes valeurs de capacité

3.b . Condensateurs Céramique :

Ce type de condensateur figure II.4 utilise une céramique dont la composition peut varier en guise d'isolant. Cette dernière permet de séparer un empilement d'électrodes, plus il y a de couches empilées plus la surface donc la capacité est importante. La grande permittivité relative de la céramique permet d'atteindre des valeurs de capacité de quelques nF jusqu'à une dizaine de *m*F . Ils présentent également l'avantage d'avoir une très faible inductance série et sont donc particulièrement adaptés aux applications hautes fréquences. En revanche, étant donné que la structure est en céramique , ils sont très fragiles. De plus, la température a une très forte influence sur leur capacité pour les modèles de fortes valeurs (dits de classe 2 comme par exemple : X5R, X7R,...) [11]



Figure (II.4) condensateur céramique

3.c. Condensateurs Plastique :

Les condensateurs plastiques constituent une famille assez importante avec plusieurs types de plastiques utilisés en guise d'isolant (ces derniers étant bien souvent métallisés). Ces composants sont utilisés pour le découplage de signaux car ils sont très stables par rapport à la température, au vieillissement et ne présentent pas d'hystérésis de charge. Il existe par exemple les polyesters (MKT ou MKS, cf. figure a et b), les polystyrènes (MKJ), les polypropylènes (MKP), ou encore les polycarbonates (MKC). Les polyesters (ou polyéthylènes) sont appréciés car il est possible d'obtenir des couches très minces d'isolants et donc une capacité assez élevée. Les polystyrènes ne présentent pas cet avantage mais sont les plus stables parmi tous les condensateurs à film plastique. Les polypropylènes quant à eux sont les plus utilisés dans les alimentations à découpage car ils présentent une très faible résistance série (ce qui autorise donc de forts courants), en revanche, ils peuvent être assez volumineux du fait de l'impossibilité d'obtenir des couches très fines[11]



(a) Condensateur MKT **(b) Condensateur MKS**

Figure (II.5) Photos de condensateurs plastiques polyester

3.d. Autres matériaux**:**

Bien d'autres matériaux sont (ou ont été) utilisés pour servir d'isolant comme le papier, le verre ou le mica. Cependant, bien que présentant l'avantage de ne pas être polarisés, tous ces condensateurs utilisant un film relativement épais ne permettent pasd'atteindre des valeurs de capacités très élevées (toujours en conservant des dimensions raisonnables). Cet état de fait a conduit à la recherche de nouvelles techniqueset a finalement abouti aux condensateurs polarisés.

4.Les condensateurs polarisés :

La technique permettant d'atteindre les valeurs de capacités les plus importantes consiste en la création d'un isolant directement sur une électrode par une réaction chimique d'oxydation. Pour cela, deux électrodes métalliques baignant dans un électrolyte sont mises sous tension continue. Les ions présents dans l'électrolyte vont alors réagir avec l'une des deux électrodes (selon la polarité choisie) et oxyder cette dernière. La couche de diélectrique alors formée est très fine (100 nm pour un condensateur électrolytique aluminium de 63 *VDC*) ce qui permet d'atteindre des capacités jusqu'à plusieurs mF. Le problème étant qu'une fois la couche de diélectrique formée, il devient impossible d'appliquer une tension inverse. En effet, ceci provoquerait la réaction chimique opposée (la réduction de l'oxyde pour créer le métal), détruisant le diélectrique au niveau de l'anode, ce qui créerait d'une part un court-circuit et d'autre part engendrerait la création d'une couche de diélectrique au niveau de la cathode dégageant du dihydrogène et augmentant fortement la pression interne conduisant à une explosion (ou à un dégagement gazeux rompant l'évent dans le meilleur des cas). Ainsi ce type de condensateur est dit polarisé.[11]

Remarque : Bien évidemment, comme cela sera expliqué plus e ;;;;n détails dans la suite, l'anode est oxydée avant le montage final car le dégagement gazeux (de dihydrogène) engendré lors de cette action doit être réalisé sous atmosphère protégée.

4.a. CondensateurAu tantale :

Les condensateurs utilisant du tantale peuvent avoir un électrolyte liquide ou solide. Ces derniers (qui sont historiquement appelés condensateurs « gouttes » à cause de la forme des premières versions) sont les plus utilisés car ils présentent un meilleur maintien dans le temps ainsi qu'une résistance série plus faible que ceux possédant un électrolyte liquide. Les condensateurs au tantale sont ceux qui présentent la plus grande capacité par unité de volume, ceci grâce à leur conception et à la plus grande permittivité relative de l'oxyde de tantale par rapport à l'oxyde d'aluminium. En effet, contrairement aux autres éléments qui mettent deux plaques en vis à vis, ici le tantale est sous forme de poudre (les particules ayant un ordre de grandeur de 10 *m*m) agglomérée par « frittage ». Ces particules (qui auront le rôle d'anode) sont oxydées et ensuite reliées à la cathode soit par un oxyde de manganèse, soit directement par l'électrolyte lorsque ce dernier est liquide. Le collecteur permettant de relier cet électrolyte (qui devient de ce fait la cathode) à l'extérieur est en argent. Ceci se justifie par la très bonne conductivité électrique de ce métal d'une part mais également, dans le cas des électrolytes liquides, par sa résistance à la corrosion. En effet, ces derniers utilisent des acides tels que l'acide sulfurique en guise de solvant. Ainsi, la surface effective de contact entre l'anode et la cathode est immense (grâce au frittage) et la permittivité relative de l'oxyde de tantale ($Ta2O5$) est très grande (27 contre moins de 10 pour de l'oxyde d'aluminium). Ils disposent également d'une résistance série relativement faible (plus grande pour les liquides) et d'une très faible inductance série équivalente grâce à l'absence d'enroulement [11]

Cependant, malgré ces qualités, ces condensateurs ne sont pas exempts de défauts, le premier étant le coût : en effet, le tantale est un métal rare, donc cher, auquel vient s'ajouter le coût de l'argent. Ensuite, vient le très fort risque d'inflammation lors d'un dysfonctionnement qui, outre l'évident risque posé par les flammes, conduit également à un dégagement de vapeurs toxiques. C'est pourquoi leur utilisation dans un montage embarqué (véhicule électrique par exemple) est très déconseillée. De plus, un important coefficient de sécurité en tension doit être respecté avec un calibre qui doit

être choisi égal à deux fois la tension utile spécifiée (alors que ceci est pratiquement inexistant pour la technologie électrolytique aluminium)[11]

4.b. Condensateurs Électrolytiques aluminium :

Il s'agit des condensateurs étudiés dans ce manuscrit. Ils présentent de nombreux avantages par rapport aux autres condensateurs non polarisés à commencer par une densité de puissance très importante et donc une capacité élevée même si à volume donné, cela reste inférieur aux tantales. Néanmoins, ils supportent des tensions bien supérieures (au-delà de 400 V pour certains). L'autre avantage par rapport aux condensateurs tantales, c'est que malgré le risque d'explosion en cas de défaillance,

l'apparition de flamme est impossible et les éléments dégagés ne sont que peu ou pas toxiques (du moins rien de comparable avec les condensateurs au tantale). Par conséquent, ces derniers seront toujours préférés dans les applications embarquées malgré un volume plus important à capacité donnée. De plus, ils sont moins chers à fabriquer, compte tenu du métal utilisé (l'aluminium) ainsi que du procédé de fabrication nettement plus simple.[11]

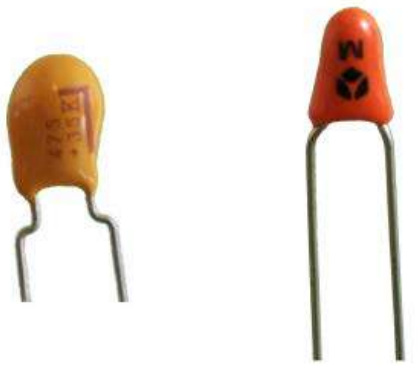


Figure (II.6) : Photos de condensateurs au tantale

5.Polarisation du matériau diélectrique

En soumettant le matériau à un champ électrique de tels dipôles peuvent être créés. S'ils existaient déjà, cela peut avoir comme effet de tous les aligner dans le même sens. D'un point de vue microscopique, on peut relier l'amplitude de l'onde au dipôle créé via la notion de polarisabilité, qui est une caractéristique propre à chaque atome. Il est cependant impossible de mesurer de telles grandeurs microscopiques. On préfère utiliser une grandeur macroscopique, la polarisation, qui vaut la somme de tous les dipôles du matériau. Cette polarisation vient donc de différents effets physiques [17]:

- à polarisation électronique, toujours présente, est due au déplacement et à la déformation de chaque nuage électronique,
- la polarisation atomique est due aux déplacements des atomes,
- la polarisation d'orientation existe lorsque des dipôles déjà présents sont tous alignés entre eux.

La polarisation $P^{\rightarrow}$ est souvent proportionnelle au champ électrique $E^{\rightarrow}$qui l'a créée (ce cas est dit linéaire) :

$$\vec{P} = \varepsilon_0 . \chi . \vec{E} \quad \text{(II.13)}$$

Avec

ε_0 : La constante diélectrique

χ : la susceptibilité électrique du matériau, qui est un nombre complexe. Dans le cas d'un diélectrique anisotrope, χ est un tenseur de rang 2.

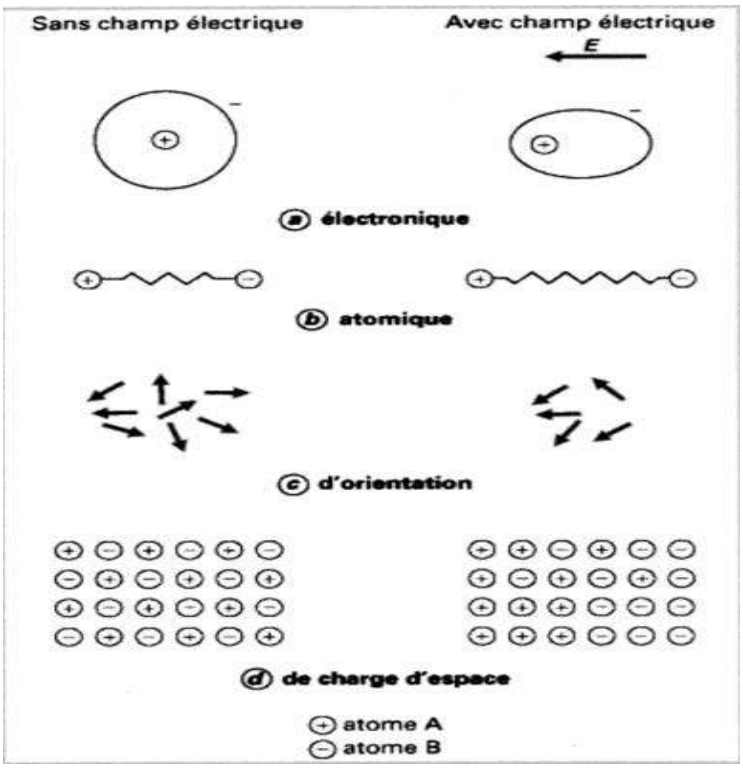


Figure (II.7)Représentation schématique des types de polarisation

5.1. Polarisation du diélectrique :

Le stockage de l'énergie électrostatique aux bornes du condensateur est rendu possible grâce à l'aptitude des diélectriques à se polariser sous l'effet d'un champ électrique [26]. On

interprète ce phénomène par l'apparition d'un champ électrique de sens opposé à celui du champ extérieur appliqué, suite à des mécanismes de déformation des charges électriques dans le matériau. Une description macroscopique montre que ce champ, appelé champ de polarisation, est dû à l'apparition d'un moment dipolaire, résultant du déplacement des charges dans la matière.[18]

A. Polarisation en aspect macroscopique

En présence d'un champ électrique extérieur tel que celui régnant entre les armatures d'un condensateur, la permittivité relative du diélectrique représente une mesure directe de l'aptitude du matériau isolant à stocker de l'énergie suite à sa polarisation. Deux phénomènes différents concourent à la polarisation diélectrique (induite ou permanente), et selon la température et la fréquence, leur importance relative change.
Cette dernière peut être induite ou permanente. La première consiste à la création d'un moment dipolaire, alors que la seconde est basée sur l'orientation des dipôles permanents déjà présents à l'intérieur du diélectrique

B. Polarisation permanente

On parle de polarisation permanente lorsque certaines molécules présentent spontanément un moment dipolaire électrique différent de zéro orienté de manière aléatoire dans le matériau. Lorsqu'un champ électrique est appliqué sur ce type de molécules, tous les dipôles pris individuellement, tendent à s'orienter dans la direction du champ.

C. Polarisation induite

Dans le cas d'une polarisation induite, le champ électrique appliqué est considéré comme une perturbation extérieure aux molécules et aux atomes présents au sein du diélectrique, et tend à attirer le nuage d'électrons vers l'électrode positive du condensateur. Cependant, les forces d'attraction entre les électrons et les nucléons ont tendance à résister à ce déplacement, engendrant ainsi une condition d'équilibre de sorte que les barycentres des charges positives et des charges négatives ne sont plus superposés.
L'atome acquiert ainsi un moment dipolaire électrique d'autant plus important que le champ électrique est intense. On peut distinguer les polarisations électronique et ionique :

- La polarisation électronique présente dans tous les diélectriques, est due à la déformation du nuage électronique des atomes lorsqu'ils sont soumis au champ électrique extérieur. Le barycentre des charges positives s'éloigne du barycentre des charges négatives et crée un dipôle induit. Elle se manifeste dans tous les types de matériaux.

- La polarisation ionique est due à la déformation des liaisons chimiques lors de l'application d'un champ électrique extérieur. Elle concerne les liaisons ioniques, fortement polaires, qui lient des atomes d'électronégativité différente. Les matériaux comportant de telles liaisons sont appelés matériaux ioniques.

D'une manière générale, pour un milieu diélectrique linéaire et isotrope, la polarisation$\vec{P}$, moment dipolaire par unité de volume, et la permittivité ε sont liés par la relation macroscopique

$$\vec{P} = \varepsilon_0 . \chi . \vec{\mathrm{E}}$$

$$\chi = (\varepsilon_r - 1) \qquad \text{(II.14)}$$

6.Claquage du condensateur :

6.1.Dans les isolants solides :

le claquage dans un diélectrique peut provoquer la fusion, bruler ou perforer le diélectrique. Après un claquage sous formes de perforation, de fonte ou de brulure 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 isolants liquide et gazeux, la grande mobilité des particules permet à la trace de disparaitre et l'isolant est ainsi régénéré. Chaque type de matériaux possède une résistance au claquage (rigidité diélectrique) différentes des autres. La rigidité diélectrique dépend considérablement de :[19]

- ✓ **La fréquence du réseau :** La rigidité diélectrique diminue avec l'augmentation de la fréquence.
- ✓ **La température** :La rigidité diélectrique diminue avec l'augmentation de la température et la durée d'application de la tension

6.2. Mécanismes de claquage :

On appelle claquage la perte subite de la propriété isolante d'un diélectrique soumis à un champ électrique intense. On distingue généralement le claquage électronique, le claquage thermique tout en notant que la distinction n'est pas forcement 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.

6.3 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.

6.4Claquage d'origine électronique :

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

a) 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.

b) 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 conductions pouvant être accélérés pour atteindre l'énergie d'ionisation des atomes. Coelho et Aliéniez donnent une explication du processus

7. Effet des paramètres extérieur (Effet de température):

7.1.Le condensateur céramique :

Les condensateurs céramiques fabriqués industriellement se présentent sous forme de disques monocouche ou de pavés multicouches (Figure II.9).[11]



Figure (II.8) : (a) Condensateurs céramiques sous forme de disque
(b) Condensateurs céramiques de pavé multicouches

7.1.2. Les types de condensateur céramique

A. Les condensateurs monocouche :

Les composants sous forme de disque, appelés également condensateurs monocouche, sont fabriqués par pressage de la poudre d'oxyde puis frittage de la pastille. Les capacités atteintes sont généralement assez faibles, mais le procédé est très simple à mettre en œuvre

B. Les condensateurs multicouches :

Les composants multicouches élaborés à partir de couches épaisses de matériaux diélectriques mises en forme par coulage en bande permettent d'atteindre des capacités bien supérieures. Le procédé de fabrication est plus contraignant, même s'il est aujourd'hui très bien maîtrisé industriellement.[13]

7.1.3. Le matériau diélectrique (le titanate de baryum BaTiO3)

Le titanate de baryum BaTiO3 est un composé 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.

A. Caractéristiques de BaTiO3 :

Caractéristiques	Valeurs
Densité (g/cm3)	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

tableau (II.1) : regroupe quelques caractéristiques de BaTiO3.

B. Structure cristalline :

Le titanate de baryum cristallise dans la structure pérovskite. Celle-ci, de motif ABO3, est composée d'un réseau tridimensionnel de cations Bn+ ($3 \leq n \leq 6$) formant avec les anions O2- des octaèdres BO6 liés par leurs sommets, et de cations Am+ ($1 \leq m \leq 3$) occupant les sites dodécaédriques Dans le cas idéal, à haute température, BaTiO3 est de structure pérovskite cubique (paramètre de maille: a = 4 Å, Ba^{2+} = Am+ et Ti^{4+} = Bn+). BaTiO3 est de groupe d'espace : les cations Ti^{4+} sont situés au centre de la maille unitaire, les cations Ba^{+2}aux sommets du cube et les anions O^{2-} au centre des faces (Figure(II.10)[14]

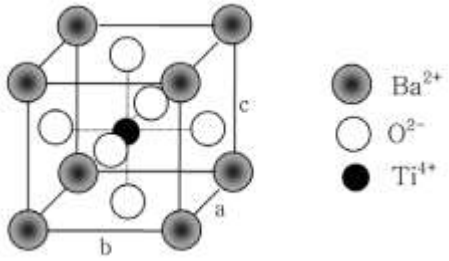
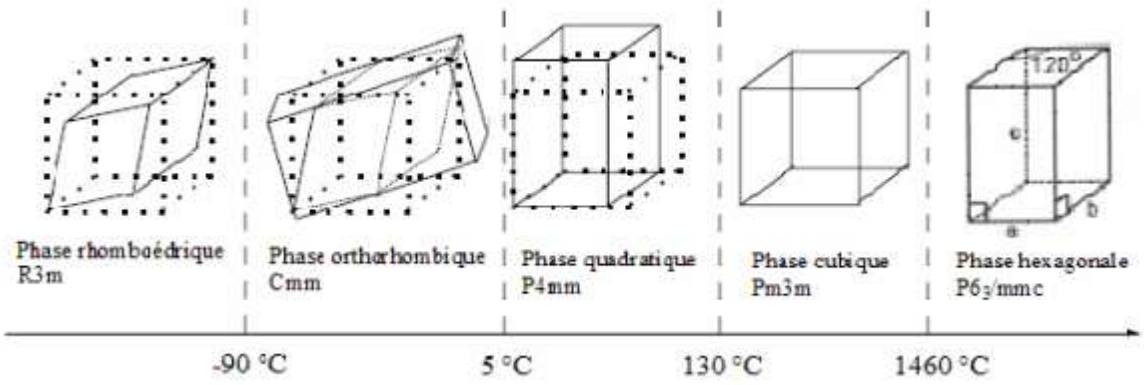


Figure (II.9) : Structure cristalline cubique de BaTiO3

La maille unitaire admet un centre de symétrie, interdisant un vecteur de polarisation spontanée. Le moment dipolaire macroscopique est donc nul, mais Ti4+ étant très mobile dans l'octaèdre, la polarisabilité d'orientation est forte. A la température de Curie de 120°C, les ions Ti4+ sont tous dans des positions d'équilibre au centre de leur octaèdre. Lorsque la température diminue, ces ions passent d'une position énergétiquement favorable à une autre, en dehors du centre de l'octaèdre. Ces changements induisent une modification des paramètres de maille et donc de la phase cristalline de BaTiO3. A température ambiante, le titanate de baryum est de structure quadratique (Figure II.11)[14]



Figure(II.10) : Transitions de phases successives de BaTiO3

7.1.4. Mesures électriques en température :

Les mesures électriques en température (30 <T < 300 K) ont été effectuées à l'Université de Gainesville en Floride (Etats-Unis) par Hyuksu Han, dans l'équipe du Pr. Juan Claudio Nino. Un électromètre de type Agilent 4284A LCR couplé à un équipement cryogénique de type CTI–Cryogenics, Model 22 a été utilisé.

A. Mise en évidence des mécanismes de polarisation :

La permittivité relative et les pertes diélectriques d'une céramique BaTiO3-δ-TiCl3 (Ba/Ti=0,95, recuite sous air à 850°C pendant 15 minutes et refroidie par trempe) ont été mesurées en fonction de la température, de 30 à 300 K, pour des fréquences allant de 40 à 100 kHz. Cette céramique provient d'un lot de poudres de taille de grains de l'ordre de 60 nm, poud

res différentes de celle utilisées précédemment. Dans la suite de ce chapitre, les zones de température comprises entre 30 et 100 K et entre 100 et 300 K seront respectivement appelées zones de basse et haute température.

B. Les caractéristiques électriques de la céramique :

Les caractéristiques électriques de la céramique sont rapportées dans la figure(II.12) et le tableau II.2.

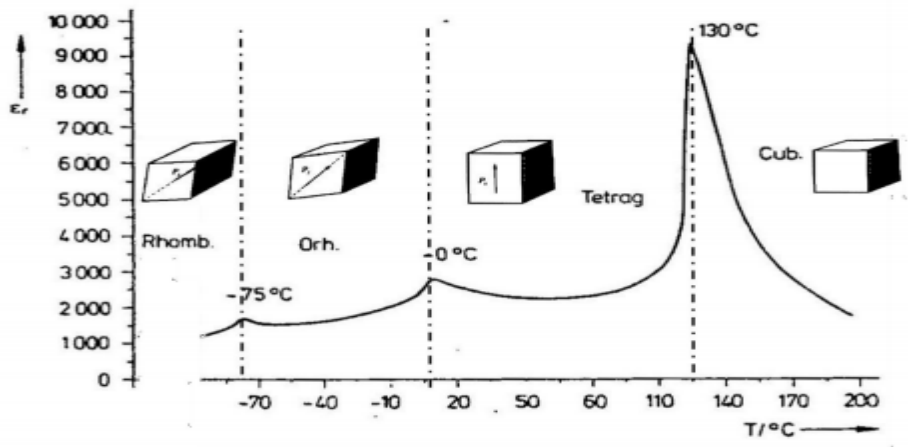


Figure (II.11) : Evolution de la constante diélectrique en fonction de la température pour un cristal de BaTiO3(Ba/Ti=0,95) recuite sous air à 850°C pendant 15 minutes suivi d'une trempe.[15]

Ba/Ti	ε_r	tanδ
0,95	638 737	0,05

Tableau (II.2) : Propriétés électriques d'une céramique BaTiO3-δ-TiCl3 (Ba/Ti=0,95) recuite sous air à 850°C pendant 15 minutes suivi d'une trempe (température ambiante, 1 kHz)

La céramique présente une permittivité relative très élevée de l'ordre de plusieurs centaines de milliers associée à de faibles pertes diélectriques (Tableau II.2). La permittivitérelative de la céramique diminue lorsque la température baisse et devient indépendante de la température en dessous de 50℃ (Figure II.12). Pour une température donnée, une diminution brutale de la permittivité relative s'accompagne d'un phénomène de relaxation diélectrique, mis en évidence par l'apparition d'un maximum au niveau des pertes diélectriques. Ce phénomène de relaxation diélectrique est thermiquement activé et apparaît à plus basse température.

7.2. Condensateurs à films polymères métallisés :

Les diélectriques, pour ce type de condensateurs, sont constitués de deux films polymères sur lesquels on a déposé sous vide, pour constituer les électrodes, une couche de métal (aluminium ou zinc) de quelques dizaines de nanomètres [16]. Afin d'éviter toute possibilité de court-circuit entre les deux électrodes, une marge m de film non métallisé est laissée d'un côté du d10iélectrique comme le montre la Figure (II.13). Les films métallisés sont ensuite décalés d'une distance ***d*** avant d'être enroulés ensemble sur un support isolant cylindrique appelé mandrin. Ce décalage latéral entre les deux films facilite la connexion avec le circuit extérieur.

La connexion des spires de chaque côté du bobinage ainsi formées est effectuée par pulvérisation d'un métal à chaud, comme le zinc, aux extrémités de chaque enroulement. Le contact ainsi formé est appelé schoopage.

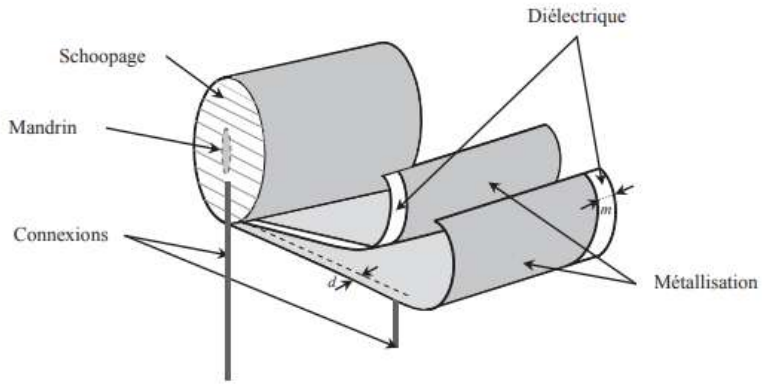


Figure (II.12) Structure générale des condensateurs à films métallisés

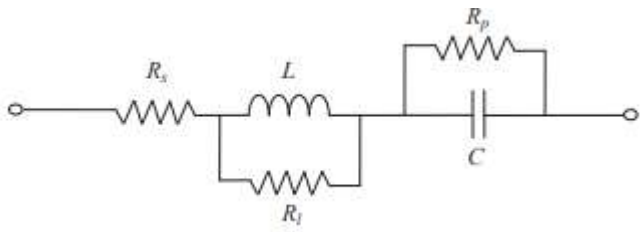


Figure (II.13) : Modèle simplifié d'un condensateur film

7.2.1.Interprétation de l'évolution des paramètres avec la température :

La température de fonctionnement est un paramètre important de dimensionnement. La température maximale admissible pour les condensateurs est limitée par divers facteurs, tels que la composition chimique de la matière plastique constituant le film diélectrique, la géométrie du composant, ainsi que le procédé de fabrication. Les phénomènes physiques et chimiques, à l'origine de cette dépendance, rendent la détermination analytique de chacun des paramètres électriques des modèles en fonction de la température très complexe. Les résultats obtenus ci-dessus sont satisfaisants, mais proposer des lois de variation de ceux-ci avec la température s'avère très difficile puisque tous les paramètres identifiés sont dépendant de la température. Nous avons donc simplifié cette étude en considérant une analyse plus globale. La résistance série équivalente (ESR) représentant la partie réelle des condensateurs et la capacité principale C du condensateur sont les paramètres les plus couramment utilisés pour suivre l'évolution du comportement des condensateurs avec la température.

7.2.2. Evolution de la résistance équivalente série :

Comme on peut le noter sur la Figure(II.15), l'ESR augmente clairement avec l'élévation de la température. On peut interpoler l'évolution de cette résistance en fonction de la température par une droite dont l'expression est donnée par l'équation ci-dessous :

$$R_{ES}(T) = R_{ES25}(1 + \alpha(T - 25))$$

où R_{ES25} représente l'R_{ES} à 25 ºC et est égale à 12 mΩ pour les condensateurs MPPF et 16 mΩ pour les condensateurs MPETF, α représente les coefficients de température des matériaux constituant les condensateurs et a pour valeur 4.2·10-3 $℃^{-1}$et 3.4·10-3 $℃^{-1}$, respectivement pour les condensateurs MPPF et MPETF. Comme les coefficients de température de l'aluminium et le zinc constituant la métallisation des condensateurs de test sont respectivement de 4·10-3 et 3.8·10-3 ($℃^{-1}$), nous pouvons considérer que l'ESR (T) des deux types de condensateurs est principalement dépendante de la variation de la résistivité de ces métaux avec la température.[16]

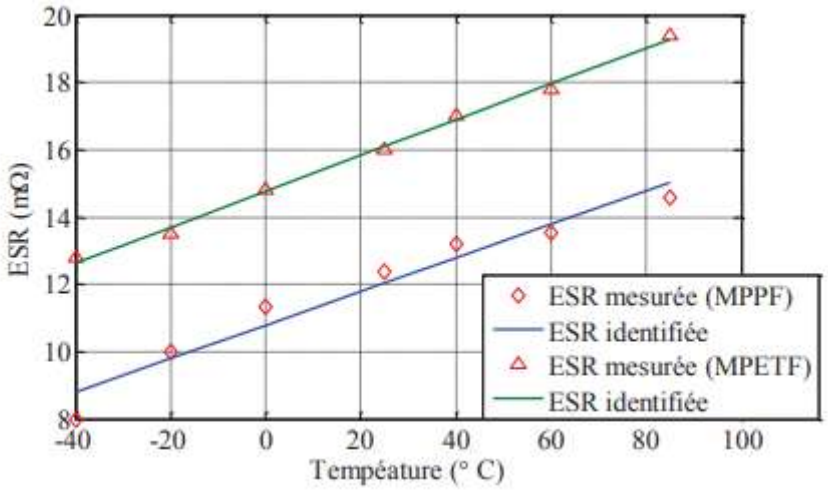


Figure (II.14) Variation de la résistance équivalente série en fonction de la température ambiante

8. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons étude les caractéristiques des condensateurs plans et cylindriques et étude les différant type des condensateurs non polarisée et condensateur polarisé et on a expliqué en détails comment se passe la polarisationdans diélectrique

Et dans ce chapitra,il s'agissait d'étudier l'effet de température sur diélectrique et de variation sesparamètre, et nous avons pris, parexemple, l'effet de température sur les condensateurscéramique et Condensateurs à films polymères métallisés et variation de R_{ES} dans ce dernier sous l'influence de la température

Enfin,nous étudierons dans le chapitre suivant ces changements qui se produisent dans l'isolant à base du logicielCOMSOL multiphysique.

Chapitre III

Simulation et Discussion des Résultats

1. Introduction

Comsol-Multiphysics, anciennement appelé FEMLAB, est avant tout est un outil de résolution des équations aux dérivées partielles PDE par la méthode des éléments finis .Sa particularité est de disposer d'une base de données des équations permettant de modéliser différents phénomènes physiques, comme l'électrostatique, magnétostatique, électrodynamique l'écoulement de fluides ou encore la déformation des matériaux ainsi que multiple phénomènes physiques modélisées en PDE.

La première version du logiciel COMSOL Multiphisiques a été publié en 1998 par le groupe COMSOL et il était nommé Toolbox.

À l'heure de début, ce logiciel est uniquement appliqué dans le domaine de la mécanique des structures. L'environnement de simulation multiphysique COMSOL facilite toutes les étapes du processus de modélisation définir votre géométrie, spécifiant votre physique, maillage, la résolution et ensuite afficher des résultats en post-traitement.

Sa spécificité est également de permettre de coupler différentes EDP, de manière à décrire des phénomènes multi-physiques, particulièrement adapté à la micro-électronique. Il est ainsi possible d'obtenir la déformation d'une membrane due à la pression dans un liquide par exemple. Ou encore l'élévation de température dans un conducteur due au passage d'un courant électrique. [20 ,21].

2. Définition Du COMSOL

COMSOL Multiphysics est un logiciel de simulation numérique basé sur la méthode des éléments finis. Ce logiciel permet de simuler de nombreuses applications en ingénierie, et tout particulièrement les phénomènes couplés ou simulation multiphysiques [22].



Figure(III.1):Logo de logicielle Comsol

3. Principe D'utilisation

L'utilisateur définit ses couplages ou sélectionne les interfaces prédéfinies. Les étapes du processus de modélisation sont intégrées dans une seule interface. Des modules d'applicationsoptionnels offrent des interfaces spécialisées notamment en mécanique linéaire et non-linéaire, acoustique, écoulement, transfert de chaleur, génie chimique, géophysique, Électromagnétisme basse et haute fréquence, corrosion, plasma, suivi de particules, optimisation, MEMS, ainsi qu'avec les logiciels de CAO et MATLAB. Ce logiciel est multiplateforme (Windows, Mac, Linux). En plus des physiques précitées, COMSOL Multiphysics autorise l'utilisateur à définir ses propres systèmes d'équations aux dérivées partielles (EDP), soit sous forme différentielle, soit sous formulation faible. Les couplages avec des équations aux dérivées ordinaires (EDO) et des équations algébro-différentiels (EAD) sont également possibles [20].

3 .1 Les déférentes étapes du processus de modélisation

La modélisation du processus avec COMSOL Multiphysics se résume en 6 étapes.



Figure(III.2): Diagramme des étapes de conception avec COMSOL

4. Avantages DuCOMSOL Multiphysiques

Le principal but de la création de COMSOL Multiphysics est d'avoir un logiciel où les scientifiques et les ingénieurs peuvent formuler à l'aide de l'interface utilisateur n'importe quel système d'EDP sur la base des lois de la physique et surtout de se baser sur les zones les plus communes dans la physique et en génie électrique.

Cette interface est basée sur un interpréteur d'équation qui formule une discrétisation par éléments finis, par le système entièrement couplé. Des interfaces de modélisation prédéfinis pour les différents domaines de la physique appliquée.

Grâce à la technologie sous-jacente, les propriétés, les sources, les puits et les conditions aux limites peuvent être des fonctions des variables modélisées et leurs dérivées partielles.

Les équations complètes sont également disponibles dans l'interface utilisateur pour une manipulation.

On résume les principaux raisons comme suivant :

- il est spécialisé dans la résolution de problèmes électromagnétiques.
- il permet de prendre en compte la présence de plusieurs diélectriques.
- il permet de modéliser une surface conductrice de faible épaisseur (couche de pollution).
- il permet de travailler en régime statique ou quasi-statique (50 Hz). [23]

5. Choix D'utilisation Modèle COMSOL

Au démarrage du logiciel, le navigateur de modèle apparaît. C'est lui qui permettra de créer une nouvelle page de simulation, vérifier les physiques et bien entendu d'obtenir de l'aide. On choisir "Model Wizard" dans la section model de la fenêtre "New", COMSOL nous demande par la suite choisir la dimension de l'espace dans laquelle nous voulant travailler, c'est la fenêtre "Select Space Dimension".

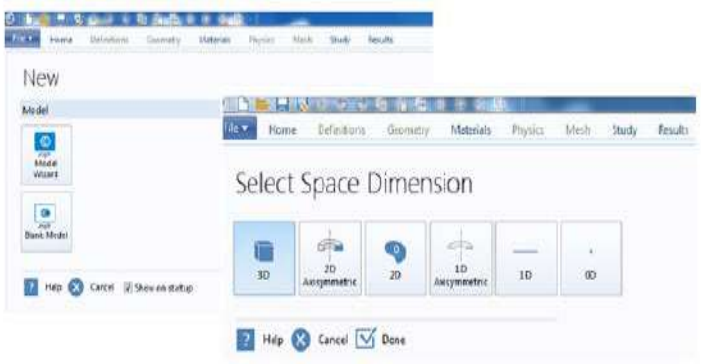


Figure (III.3): Fenêtre principale de COMSOL-Multiphysique et la fenêtre "Select Space Dimension" en cascade

Il nous reste de spécifier le ou les physiques qui seront utilisés. COMSOL spécifie le Modèle mathématique approprié a chaque physique. L'avantage ici c'est de pouvoir choisir Plusieurs physiques, le logiciel se charge de faire le couplage entre eux, Nous pouvons proposerdes variables pour chaque modèle, il est possible de choisir les propriétés du mode d'application et même la forme de l'équation, si non COMSOL le fait par défaut.[21]

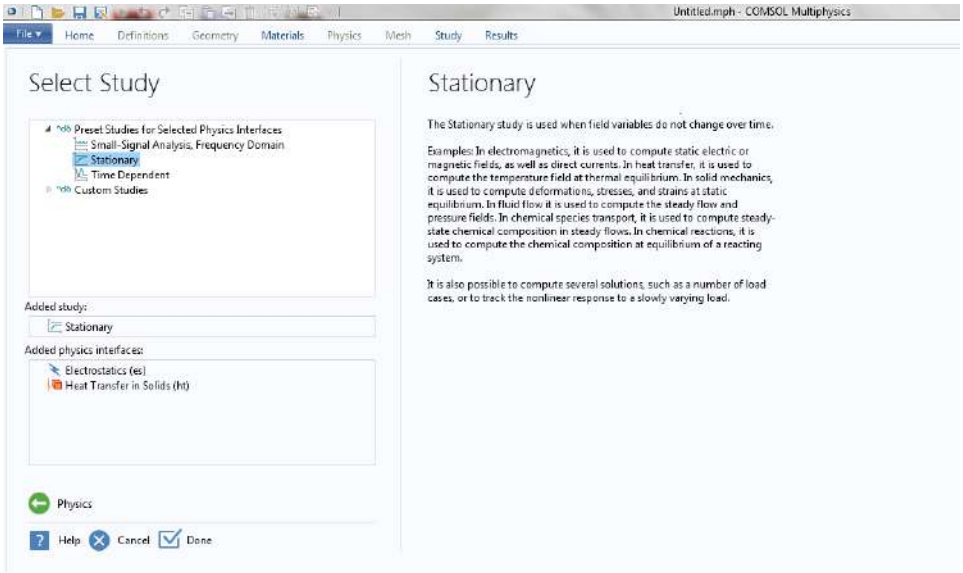
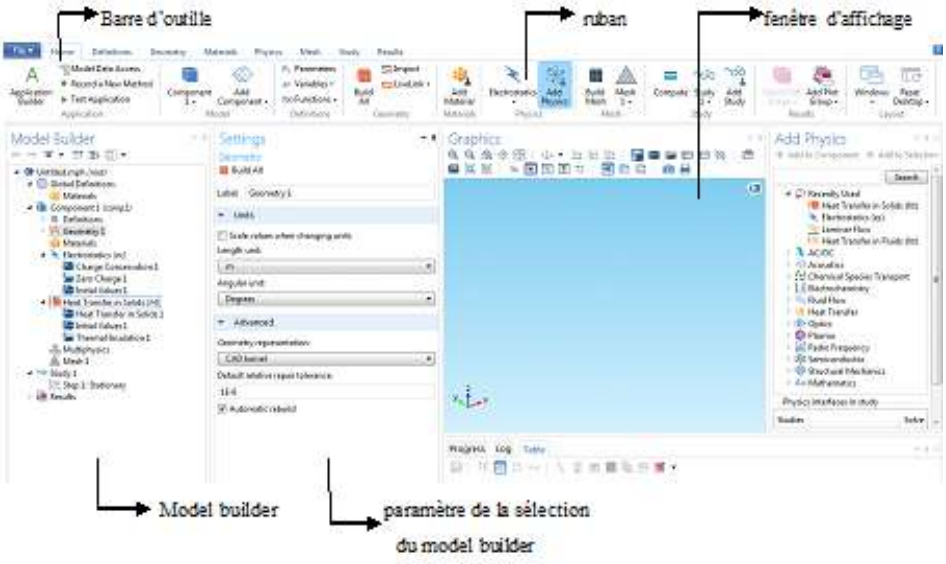


Figure (III.4): Fenêtre "Select Physique" Et "SlectStudy" De Comsol-Multphysics En Cascade

6. L'interface utilisateur de COMSOL

Lorsque le ou les modèles ont été choisis, l'écran général apparaît.Nous donc D'abord construire la géométrie du problème. La G.U.I permet de créer le domaine sur Lequel on cherche à résoudre l'E.D.P a l'aide de commandes classiques de logiciels de dessin (rectangles , lignes brisées, ellipses). On peut donc dessiner un large éventail de domaines Différents, L'interface de COMSOL est divisée en Cinque parties. [21]



Figure(III.5) : L'interface d'utilisateur sur le COMSOL MULTIPHYSIQSIC

6.1 La barre d'outils

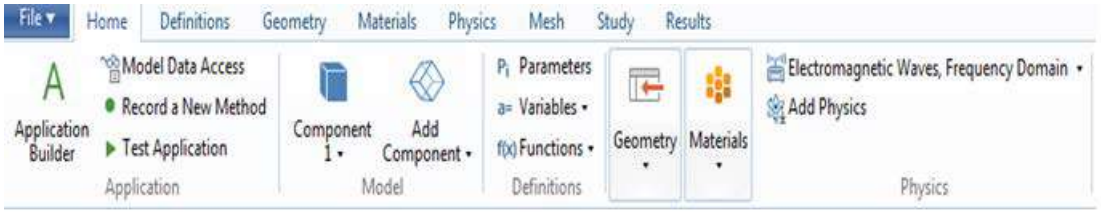
La barre d'outils Accès rapide l'utilisation de ces boutons pour donner l'accès à des Fonctionnalités telles qu'ouvrir, Enregistrer, Annuler, Rétablir, Copier, Coller et Supprimer. Vous pouvez personnaliser son contenu à partir de la liste Personnaliser la barre d'outils (la flèche dirigée vers le bas à droite de la barre d'outils). [21]

6.2 Ruban

Le ruban situé en haut du bureau donne accès aux commandes utilisées pour effectuer la plupart des tâches de modélisation. Le ruban n'est disponible que dans la version "Windows R" de l'environnement de bureau COMSOL et est remplacé par des menus et des barres d'outils da5ns les versions "OS X" et "Linux R". Cliquez sur le bouton (Application Builder) pour passer de (Model Builder) à (Application Builder) et commencer à créer une application basée sur votre modèle. [21]

6.3 Home

L'onglet Home contient toute fonction basic pour une simulation.



Figure(III.6)*: La barre de Home*

C'est la fenêtre des paramètres principale pour entrer toutes les spécifications du modèle, y compris les dimensions de la géométrie, les propriétés des matériaux, les conditions aux limites et les conditions initiales, et toute autre information dont le solveur aura besoin pour effectuer la simulation. [24]

6.4 Définitions

Beaucoup des modes d'application suggèrent un ensemble des types d'analyse comme propriété de mode d'application. Les types d'analyse possibles varient avec le domaine d'application. Types que vous pouvez compter voir inclure stationnaire, fréquentielle, coupure, dépendant du temps, et analyses paramétriques.

Nous pouvons faire des arrangements d'équation qui sont incompatible avec le solutionneur que nous choisissant. [21]

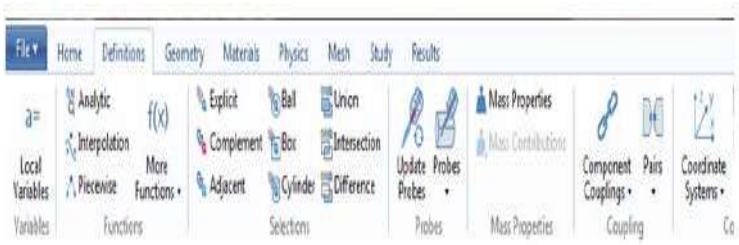


Figure (III.7) : La barre de Définitions

6.5 Geometry

Dessiner la géométrie, C'est l'étape suivante dans notre étude selon le mode de dessin 1D, 2D, 3D par défaut COMSOL fournit une barre d'outils très varier et complète pour la création de différente géométries.

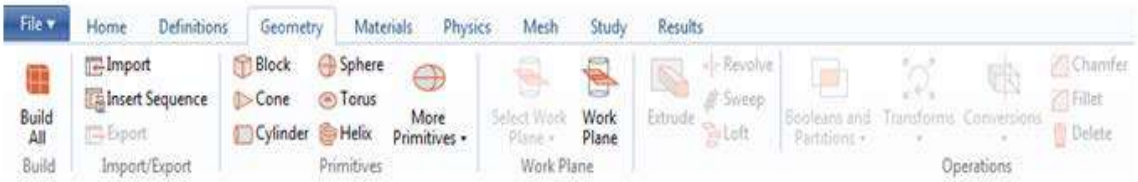


Figure (III.8) :La barre Geometry

Le but ici est de défini les paramètres physique qui définissent le domaine : (la constante diélectrique, charge volumique etc...), les paramètres sont liés au modèle physique étudie, il est également possible d'écarter un des domaines des modèle étudie). [21]

6.6 Physics

On défini ensuite le comportement des domaines en leur associant leurs propriétés. Ensuite, on impose des conditions sur certaines frontières, et éventuellement sur certains points. Cette opération est à refaire pour chaque modèle utilisé. Une fois la physique du problème posée [21].

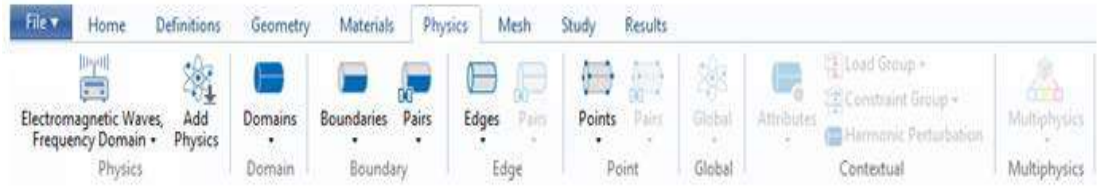
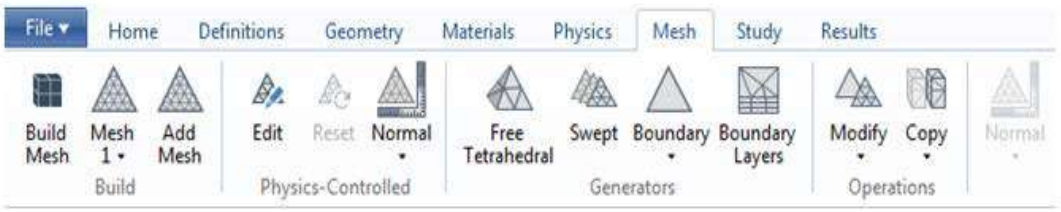


Figure (III.9):La barre Physics

6.7 Mesh

Le maillage est un partition du modèle de la géométrie en petites unités des formes simples. Nous pouvons créer un maillage libre dans Comsol-Multiphysics en cliquant sur le bouton "BuildMesh" sur la barre d'outils principale. Il peut être utilisé sur tous types de géométrie. Il crée des maillages non structurés qui n'ont pas de restrictions en termes de distribution des éléments .

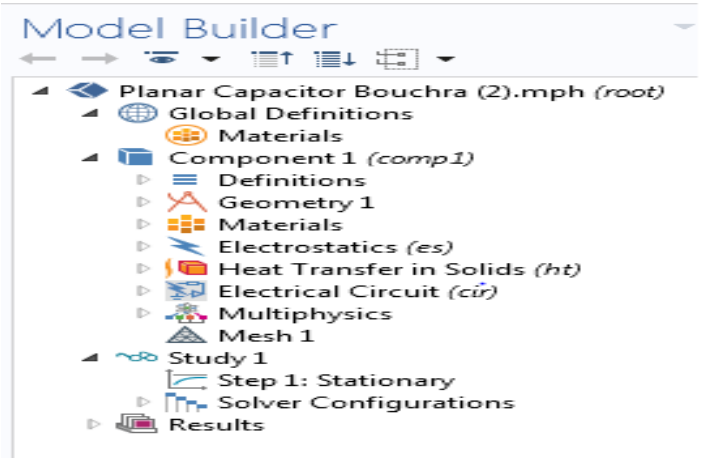


Figure(III.10) :La barre de Mesh

Pour une géométrie 3D le générateur de maille divise les sous-domaines en éléments pyramidales de maille. Si la frontière est courbée, ces éléments représentent seulement une approximation de la géométrie originale.[21]

7. Model Builder

Dans cette fenêtre on retrouve le constructeur du modèle où il est possible de définir des variables et des autres paramètres du problème (Parameters), le modèle (Model) où se retrouvent la géométrie (Geometry), les propriétés des matériaux formant la géométrie, le ou les modèles de physique s'appliquant au problème étudié et les paramètres de maillage(Mesh).



Figure(III.11): ModelBuilder

Le constructeur du modèle comporte aussi le type des problèmes et les paramètres de Solveur (Study) et les options d'affichage et de post traitement des données (Results). La colonne directement à droite comporte les options relatives à ce qui est sélectionné dans le constructeur du modèle, par exemple, les dimensions d'un objet qui vient d'être créé dans la géométrie. C'est aussi à cet endroit que les paramètres initiaux de la simulation et les modèles physiques nécessaires sont choisis.

La fenêtre Model Builder avec son arbre de modèle et les boutons de la barre d'outils Associés vous donne un aperçu du modèle et de toutes les fonctionnalités et opérations nécessaires pour construire et résoudre un modèle ainsi que pour traiter résultats. [23]

7.1 Setting Geometry

Au milieu du logiciel on trouve la déclaration des paramètres électriques, physiques et même mécaniques de chaque domaine tels que la conductivité, l'excitation du courant et la tension l'induction etc…

C'est une fenêtre des réglages le clique sur n'importe quel nœud dans l'arbre du modèle pour voir sa fenêtre paramètres associée affichée à côté du model builder, par exemple le paramètre 'Geometry' donne la fenêtre suivante :[24]

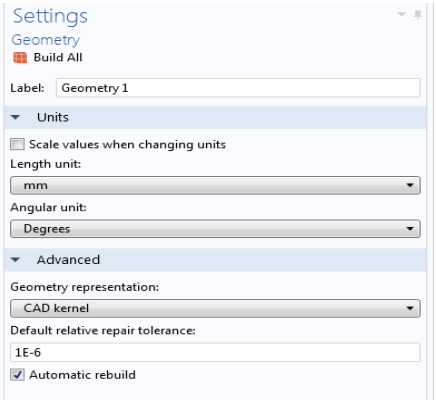


Figure (III.12): Setting Geometry

7.2 Graphics

En haut à droite, la fenêtre d'affichage graphique (Graphics) permet de représenter et visualiser la géométrie, le maillage ou les résultats. Au haut de cette fenêtre se retrouvent diverses options permettant de changer la taille de l'affichage, l'orientation d'un objet tridimensionnel etc…

Les options permettant de sélectionner des objets, des domaines, des frontières ou des points se retrouvent aussi.[21]

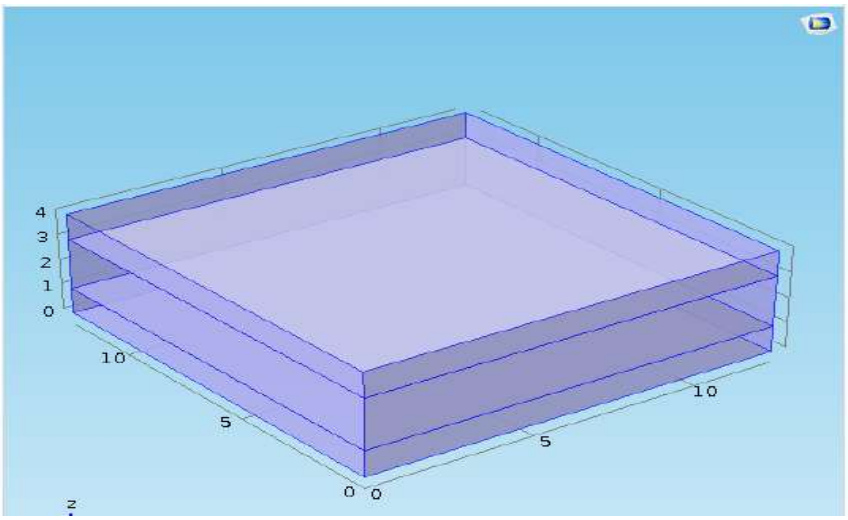


Figure (III.13):Modèle de géométrie dans la fenêtre de "Graphics"

7.3 Messages et résultats physiques

Finalement, directement au-dessous de la fenêtre d'affichage graphique, il y a une Fenêtre permet de visualiser les messages des erreurs, le progrès des simulations.

La liste des opérations effectuées lors du calcul de la solution ainsi que des résultats numériques calculés une fois la simulation terminée. [20]



Figure(III.14): Messages et résultats physiques

8.Simulation

Dans cette section on va montrer les étapes à suivre dans le COMSOL afin de modéliser la structure de condensateur plans et cylindrique Pour la conception on doit choisir le matériel du plan de masse à partir du menu déroulant "Material" offrant une librairie des plusieurs matériaux par exemple céramique, aluminium, "si on ne trouve pas le matériau répondant à nos besoins, on peut créer un".

La première étape dans la création d'un modèle COMSOL Multiphysics est de consiste à crée un modèle de géométrie 3D, et pour cette dimension de l'espace on doit respecter les étapes suivant :

8.1 Les Etapes De Construction D'un Model Condensateur Plan

1) Dans le navigateur de modèle, cliquez sur le Model "Wizard", puis sélectionnez "3D" dans la liste "Espace Dimension", Ensuite pour sélectionner la physique on ouvre l'onglet "electrostatics" et on choisit " heattransfr " et on choisit " Electrical circuit" et on ajoute, Puis pour sélectionner "Study" onchoisi "stationary" et on clique sur "Done".
2) Pour la construction de la géométrie, dans la fenetre de Model Builder on Utilise le menu de dessin pour créer la géométrie 3D.

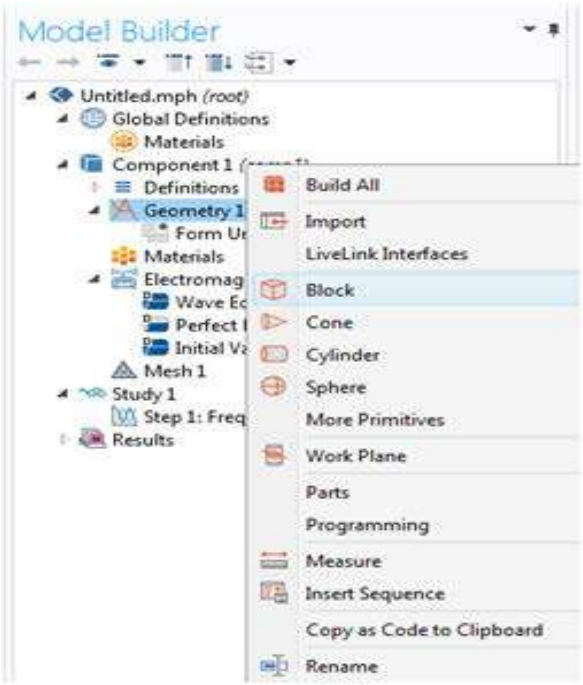


Figure (III.15): Menu de dessin de la géométrie

Cliquez-droit sur "Geometry 1" et choisissez "Block" pour dessiner un rectangle, Dans notre simulation on a sélectionné 3 Block pour la création de condensateur plane.

3) à partir de tableau suivant, on a remplis les paramètres et les valeurs de chaque Block dans la fenêtre "Settings", ça veut dire localisez la section _ X, Y et Z _ et " la taille de la largeur, la longueur et l'épaisseur ".
4) Pour avoir et illustrer la forme du structure, cliquez sur le bouton construire tout (Build all) puis vous pouvez voir la géométrie comme la montré dans les figures suivantes:

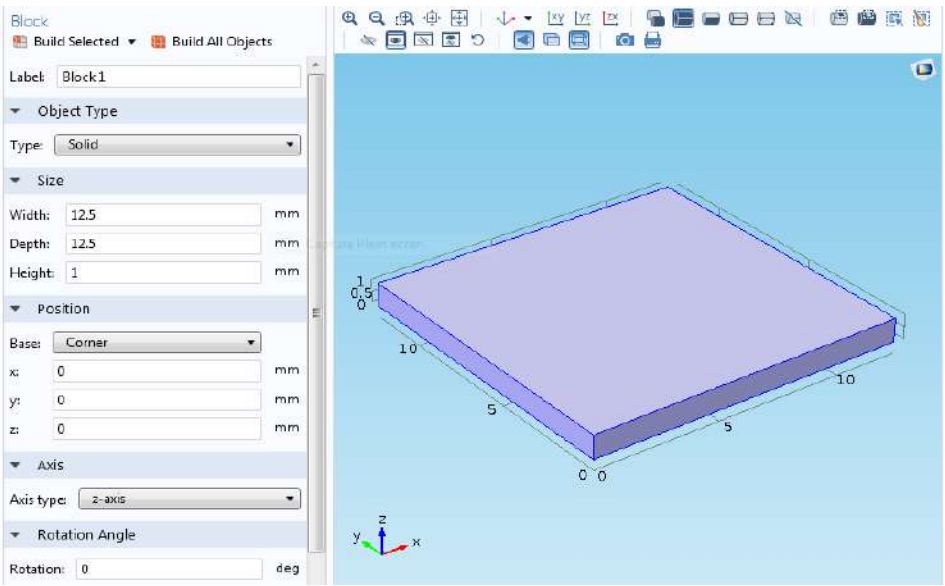


Figure (III .16): Fenêtre des paramètres de plaque inférieure

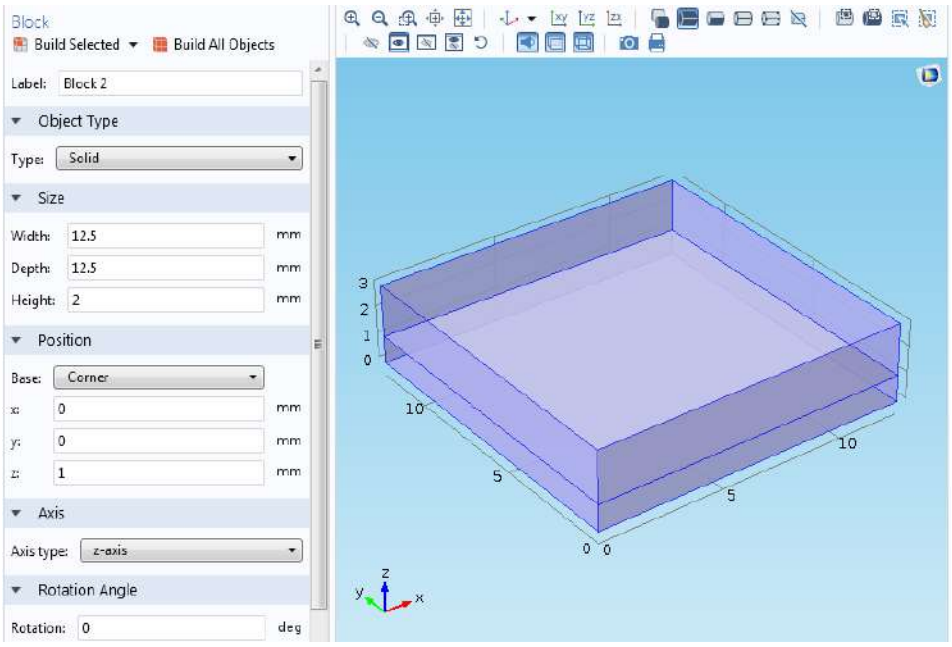


Figure (III.17): Fenêtre des paramètres de plaque diélectrique

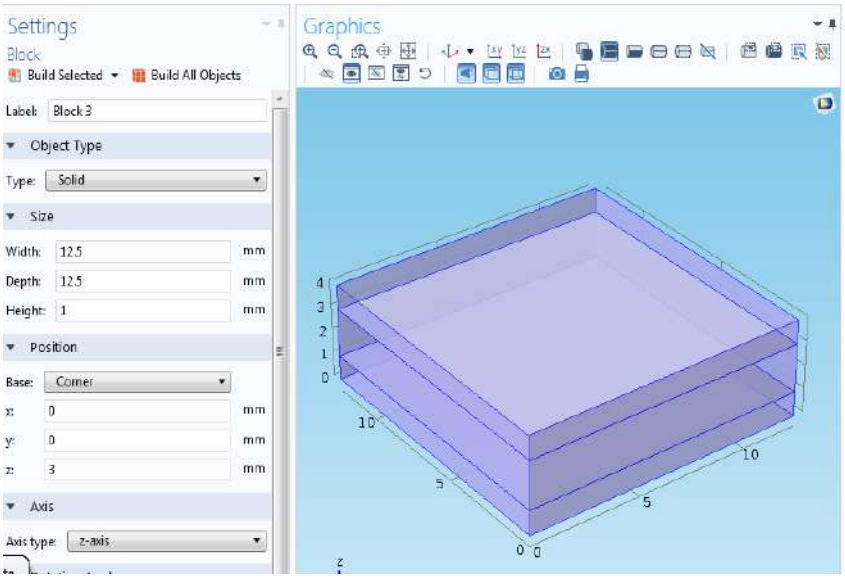


Figure (III.18): Fenêtre des paramètres de plaque supérieure

5) Pour la définition du matériau, on doit défini pour chaque volume le matériau utilisé. On utilise une bibliothèque permettant de définir simplement toutes les constantes physiques du matériau, par exemple pour le plan de patch et alimentation, on doit choisir " le cuivre " et pour le substrat les matériaux utilisées sont : céramiques … etc.

Voici les étapes que nous avons suivi pour définir les matériaux, dans la barre de "Materials", cliquez sur "AddMaterial" il illustre à droit une liste qui consiste tous les matériaux disponibles. Avec l'ouvrage de l'ongle "Material Library", nous pouvons choisir ce qu'on veut.

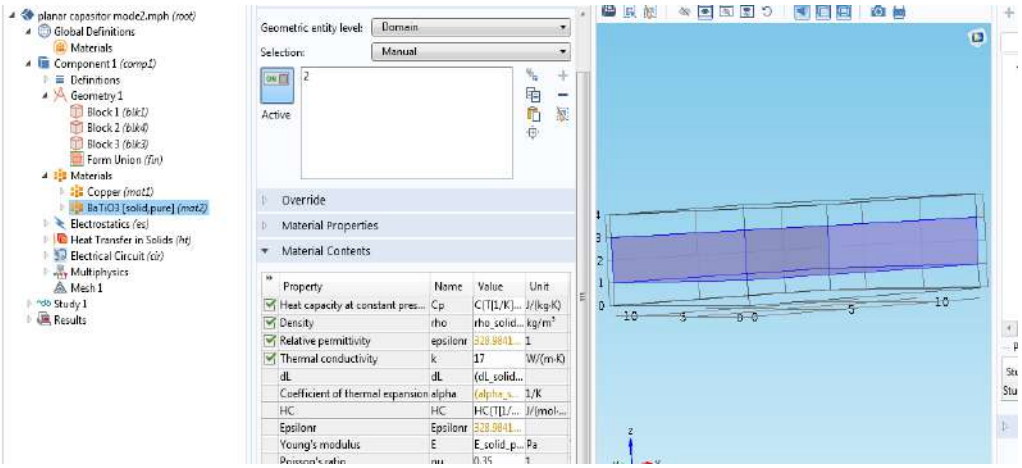


Figure (III.19): Introduire l'équation de la permittivité en fonction de la température

Le matériau sélectionné pour la diélectrique est le titane BaTiO3 ,la case de la permittivité relative de titane a été remplacé par leur équation, cette dernière a été obtenue après une partie expérimentale sous le titre "Dépendance en température de la permittivité diélectrique de BaTiO3 et Al2O3 : Application à la prédiction d'une surface de van der Waals dépendante de la température "[25].

Sachant qu'il existe d'autres matériaux qui contiennent leurs équations de permittivité en fonction de la température sans avoir besoinl'expérimentale.

Ensuite, on introduit le voltage de plaque supérieure comme suit:

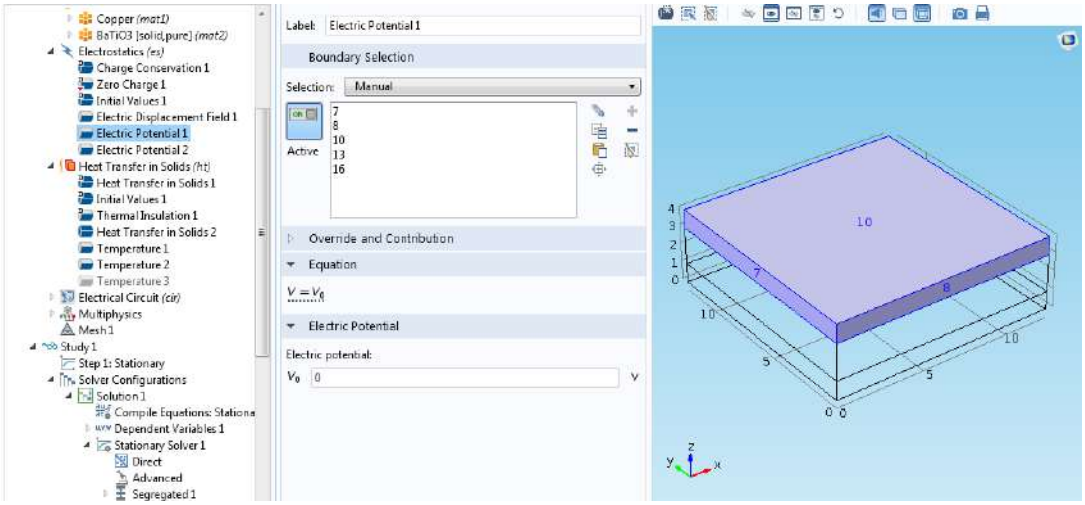
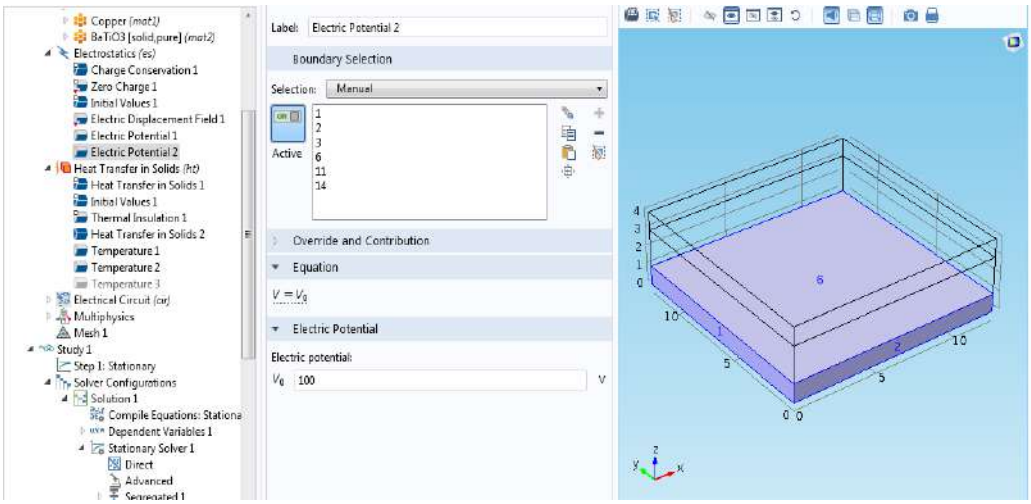


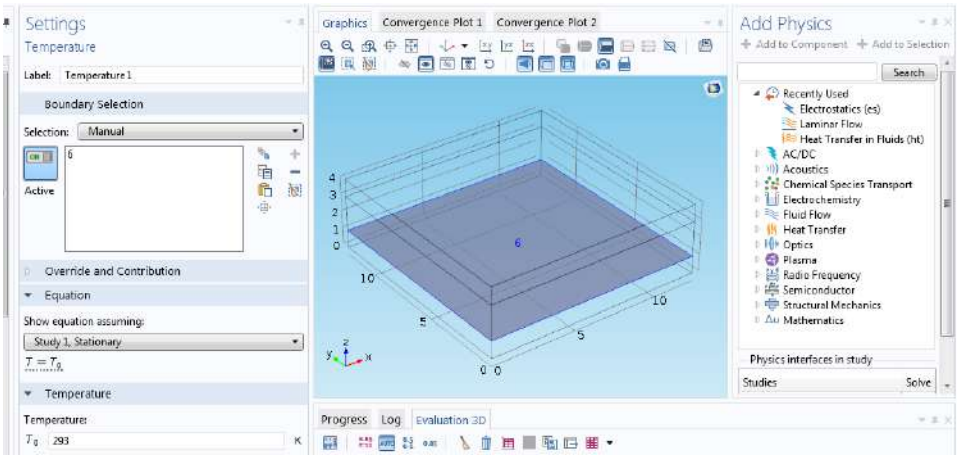
Figure (III.20): Définir le voltage de plaque supérieure

Ainsi le voltage de la plaque inférieure comme le montre la figure suivante :

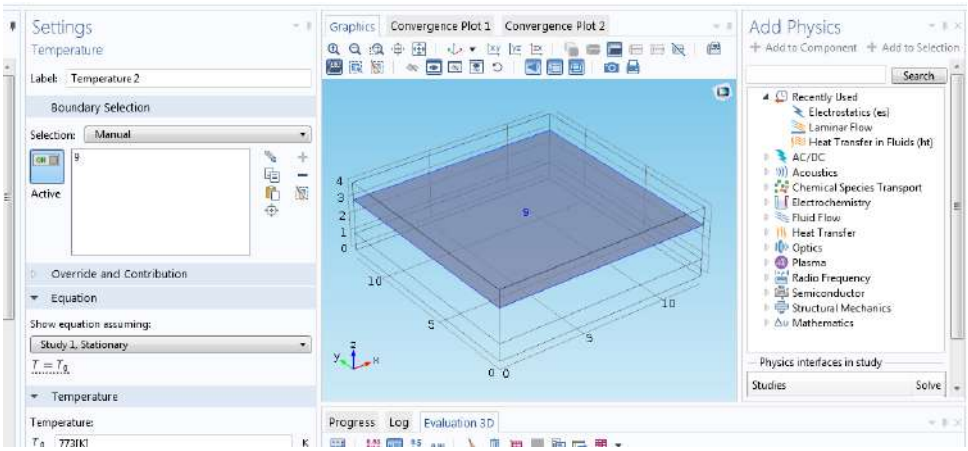


Figure(III.21): Définir le voltage de plaque inférieure

Après avoir entré la valeur de la tension des plaques, par la suite et de la même manière nous avons introduit les valeurs de temperature (l'intervalle de transfert thermique dans la partie diélectrique), comme le montrent les deux figures suivantes :



Figure(III.22) : Définir la valeur de la température T_0 d'entrée de première interface de diélectrique



Figure(III.23): Définir l'intervalle de température

8.2 Les Etapes De Construction D'un Model Condensateur cylindrique

La première étape dans la création un modèle d'un condensateur cylindrique dans le ComsolMultiphisiques .st de consiste à crée un modèle de géométrie 2D, et pour cette dimension de l'espace on doit respecter les étapes suivant :

- Dans le navigateur de modèle, cliquez sur le Model "Wizard", puis sélectionnez "2D" dans la liste "Espace Dimension", Ensuite pour sélectionner la physique on ouvre l'onglet "electrostatics" et on choisit " heat Transfer " et on choisit " Electrical circuit" et on ajoute, Puis pour sélectionner "Study" onchoisi "stationary" et on clique sur "Done".
- cliquez-droit sur "Geometry 1" et choisissez "rectangle " pour dessiner un rectangle, Dans notre simulation on a sélectionné 3 rectangle pour la création de condensateur cylindrique 2D.

A partir de tableau suivant, on a remplis les paramètres et les valeurs de chaque Rectangle dans la fenêtre "Settings", ça veut dire localisez la longer et la hauteur dans le tableau suivant :

Geometries(mm)	Longer(width)	Hauteur(height)
Rectangle 1	0.2	10
Rectangle 2	0.5	10
Rectangle 3	0.7	10

Tableau(III.1) : Dimensions des rectangles

- Pour avoir et illustrer la forme du structure, cliquez sur le bouton construire tout(Build all) puis vous pouvez voir la géométrie comme la montré dans la figure suivant :

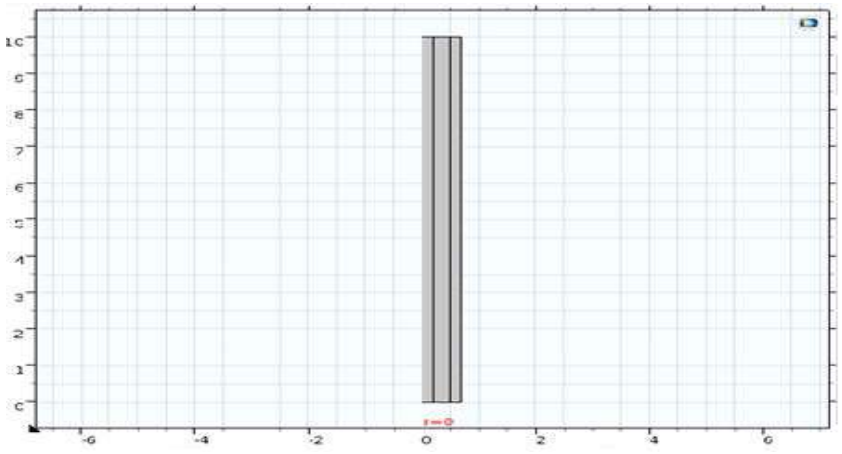


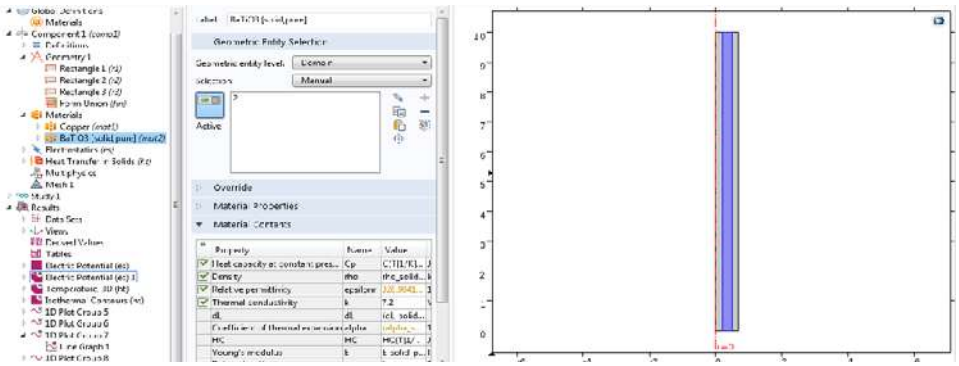
Figure (III.24):La forme d'un condensateur cylindrique 2D

Pour la définition du matériau, on doit défini pour chaque volume le matériau utilisé. On utilise une bibliothèque permettant de définir simplement toutes les constantes physiques du

matériau, par exemple pour le plan de patch et alimentation, on doit choisir " le cuivre " et pour le substrat les matériaux utilisées sont : céramiques … etc.

Voici les étapes que nous avons suivi pour définir les matériaux, dans la barre de "Materials",

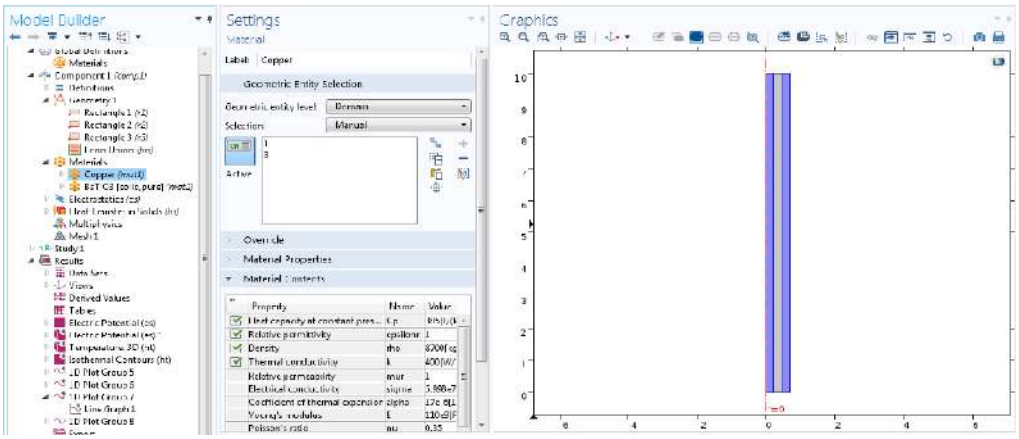
- cliquez sur "AddMaterial" il illustre à droit une liste qui consiste tous les matériaux disponibles. Avec l'ouvrage de l'ongle "Material Library", nous pouvons choisir ce qu'on veut.



Figure(III.25) : Représentation des caractéristiques de matériau diélectrique

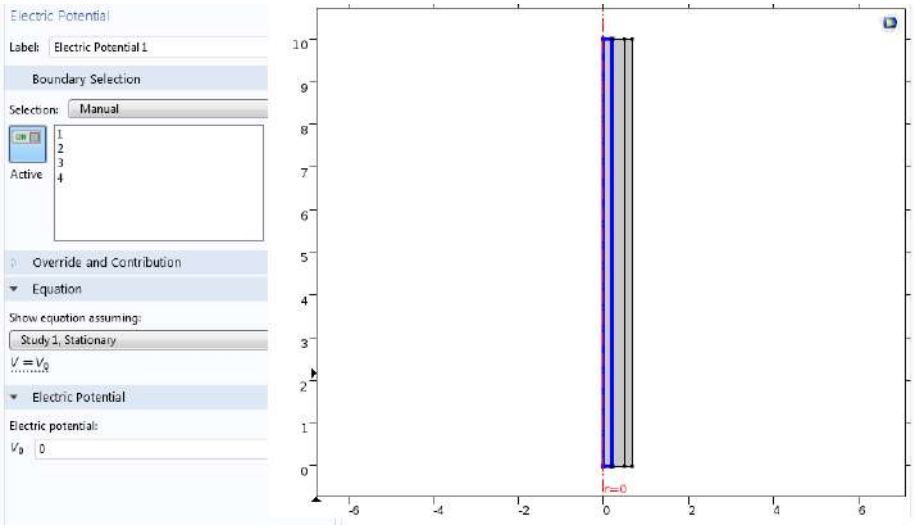
Précédemment nous avons indiqué dans la figure 14 le type de matériau choisi pour la diélectrique, et le modèle de l'équation de permittivité sur lequel on basé. et on va détaillé le modèle dans la partie de simulation.

Pour les autres plaques (supérieure et inférieure), nous avons choisi le cuivre (Copper) comme un matériau définit les deux conducteur.



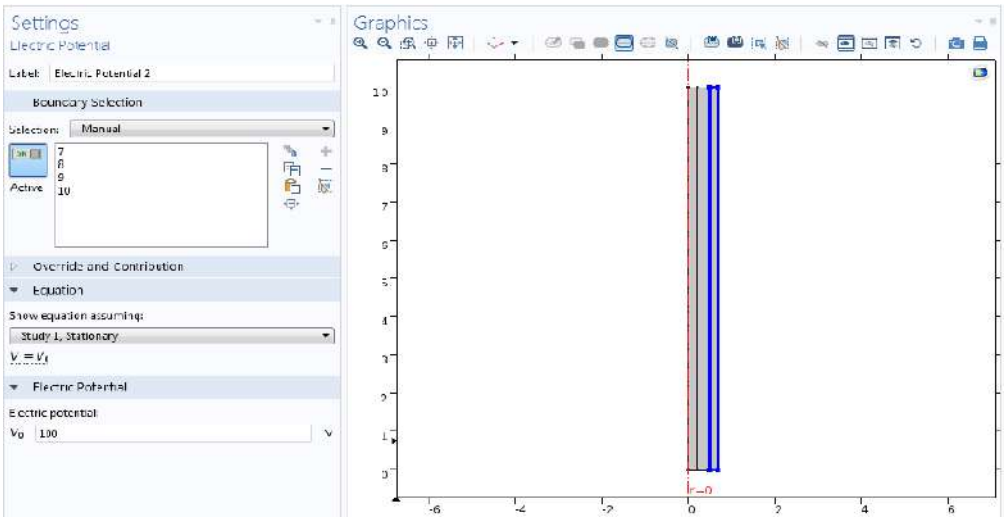
Figure(III.26): Définir le matériau de conducteurs

- cliquez-droit sur "electrostqtic (es)" et choisis "electricpotential " sélectionner boundaries de rectangle 1 et entre le potentiel V_0= 0 V :



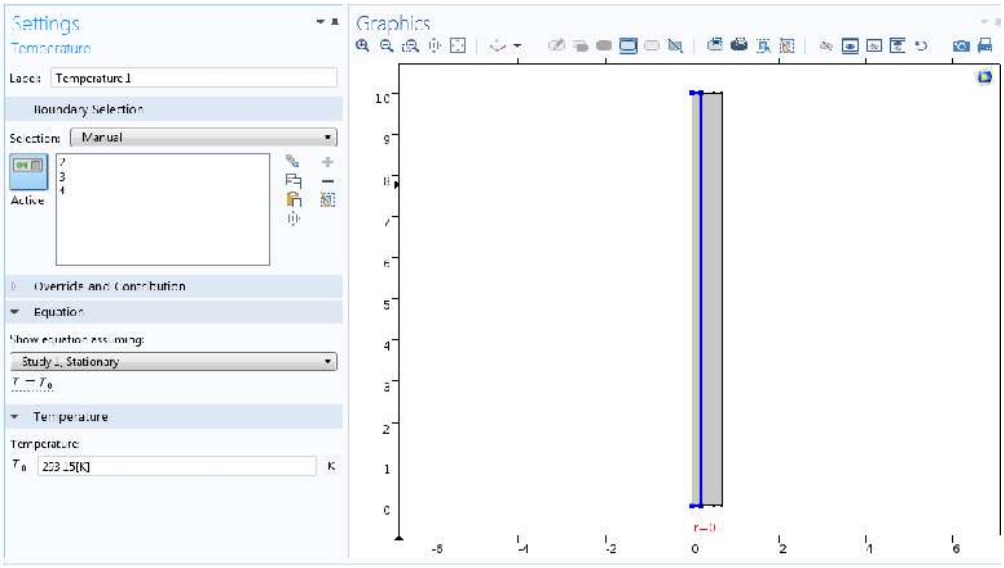
Figure(III.27) : Introduire la valeur de potentiel V_0

- Nous avons fait le même pour le3^{eme} rectangle et entre le potentiel V=100 V :



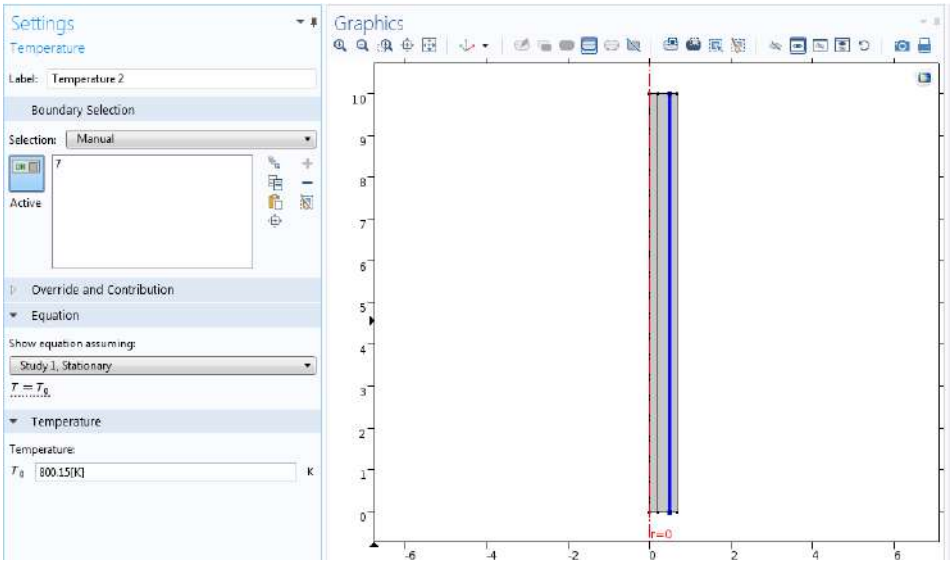
Figure(III.28): Introduire la valeur de potentiel V_0 de 3eme rectangle

- Aprèson a cliqué droit sur "heattransfer in solids(ht)" et choisis "temperature" puis sélectionner la case de boundaries situé entre rectangle 1 et rectangle 2 .et entrer la température T_0=293.15k :



Figure(III.29): Définir la valeur de la température T_0 d'entrée de première interface de diélectrique

- On a suit le même pour entrée la température "temperatureT_2 ". Sélectionner boundaries situé entre rectangle2 et rectangle 3 .et entrée la température T_0=800.15 k :



Figure(III.30) : Définir la valeur de la température T_0 d'entrée de deuxième interface de diélectrique

Finalement pour voir les résulta physiques de la simulation de cette modèle, nous avons juste cliqué sur " Mech 1" et après cliqué sur le bouton "build all" situé dans "sittingsmech" puis sur " study1" et pour lancer la simulation, on a appuyé « compute « situé dans « sittingsstudy ». Après avoir obtenu tous les résultats et graphes, nous en parlerons et les commenterons dans une partie suivante.

9.Résultats de simulation

9.1 Résultatsobtenus pour le condensateur plan

Nous avons fait la simulation du notre modèle de condensateur en se basant sur les équations obtenues par le chercheur M. Thomas [27] pour trouver la variation de la permittivité relative en fonction de la température, dans notre modélisation, la valeur limite de haute fréquence de la constante diélectrique , présente également une dépendance linéaire en fonction de la température .

Le modèle finale utilisé dans notre travail pour déterminer la variation de la permittivité relative en fonction dela température est :

$$\varepsilon_{\mathrm{r}}\,(\mathrm{T}) = \varepsilon_{\mathrm{r}}\left(T_{ref}\right) + \mathrm{e}\left(T - T_{ref}\right)$$

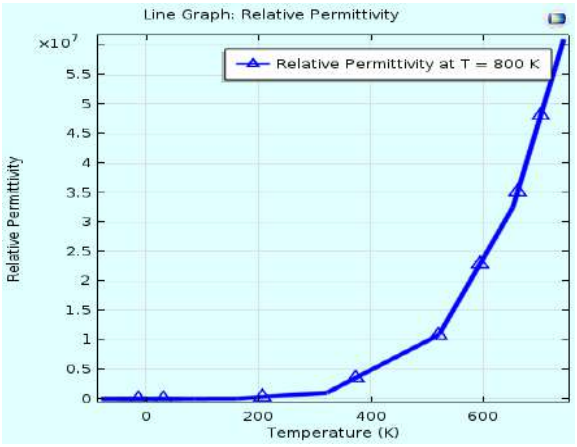
e : est un coefficient constant (se diffère d'un matériau à l'autre).

T_{ref} : Température de référence.

Nous avons extrapolé les coefficients de la dépendance à la température linéarisées à partir des résultats de Denham et al [28]. On a intégré tout d'abord l'équation de la permittivité dans la case Materials et exactement dans le matériau céramique BaTiO3 qu'on a utilisé dans le diélectrique du notre condensateur en suite cliqué sur Basic, il nous a affiché un tableau concernant les propriétés de BaTiO3, dans la case de Relative permittivité on a remplacé la constante de permittivité par leur équation.

Puis on a cliqué sur Définition et choisi Component couplings-intégration pour afficher notre équation (expression) de permittivité pendant de leur couplage avec la partie de transfert thermique .afin de tracer et obtenir les graphes qui représentent la variation de la permittivité thermique en fonction de la température.

On a fait la simulation à deux déférentes valeurs de température et on a obtenu les deux graphes suivants :



Figure(III.31) : Variation de la permittivité relative
en fonction de temperature à T = 800 K

Plusieurs facteurs influent sur les propriétés physiques de céramique BaTiO3 que nous avons utilisé dans la partie de diélectrique de notre modèle de condensateur, parmi ces facteurs est la température. .

Les résultats obtenus dans lafigure (29) montrent une évolution de la permittivité relative de diélectrique en fonction de la température (T= 800 K), où elle augmente régulièrement jusqu'à ce qu'elle atteigne sa valeur maximale ce qui permet au condensateur d'accumuler le maximum de charge à ces deux valeurs de température.

Mais on constate ainsi que la permittivité relative diminue légèrement lorsque la température dépasse la valeur de T = 600K dans la figure,Cette diminution traduit et indique la perte dans la permittivité relative.

La désignation de la densité relative de céramique solide de notre condensateur dans le COMSOL est (rho_solid_1(T[1/K])[kg/m^3] sous la fonction :

rho(T) = +6059.188-0.009504462*T^1-2.309409E-4*T^3+1.017428E+7*T^4-1.968055E-11*T^4

La deuxième partie de notre simulation est de trouver la variation de la capacité en fonction de deux paramètres, de la température et de la pression et pour cela nous avons suit les même étapes de la permittivité pour définir leur équations dans notre condensateur ensuite on a localisé dans le tableau de la fenêtre des paramètres les paramètres suivant :

Name	**Value**	**Description**
P_0	20000 Pa	Pressure
T_0	293.15 K	Operating temperature
T_{ref}	343.15 K	DiBonding temperature

Tableau(III.2) : Les paramètres localisés

Ensuite, On a ajouté un couplage non local pour calculer une quantité globale dérivée du modèle. Ces couplages peuvent être pratiques pour le traitement des résultats , et les solveurs de COMSOL peuvent également les utiliser pendant le processus de résolution, par exemple pour inclure des quantités entières dans le système d'équations. Ici, un couplage moyen non local est ajouté de sorte que la capacité peut être calculée.

Cliquez avec le bouton droit sur Groupe de tracés 1D et choisissez Global. Étant donné que la condition aux limites terminale a été utilisée pour la face inférieure du condensateur, COMSOL calcule automatiquement sa capacité. La valeur de la capacité est disponible en tant que variable dans l'analyse des résultats.

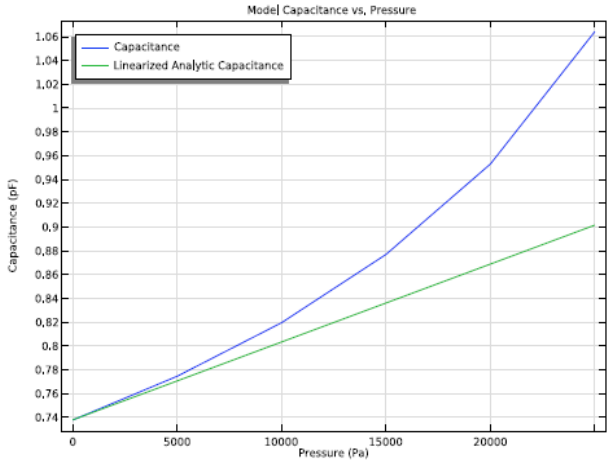
Dans la fenêtre des paramètres pour Global, cliquez sur Remplacer l'expression dans le coin supérieur droit de la section données de l'axe y. Dans le menu, choisissez Composant 1 (comp1)>Électrostatique> Bornes>es.C11 - Capacité Maxwell - F.

Apres nous avons localisé les donnée de la section de l'axe y. Dans le tableau, saisir les paramètres suivants :

Expression	**Unit**	**Description**
es.C11	pF	Capacitance
0.738[pF]*(1+8.87e-6[1/Pa]*p0)	pF	Linearized Analytic Capacitance

Tableau (III.3): Les données et expressions localisés

En fin, on calcule la variation de la capacité en fonction de la pression :



Figure(III.31): La variation de la Capacité en fonction de la pression (Pa)

De la même manière et même étapes on a obtenu la variation de la capacité en fonction de la température :

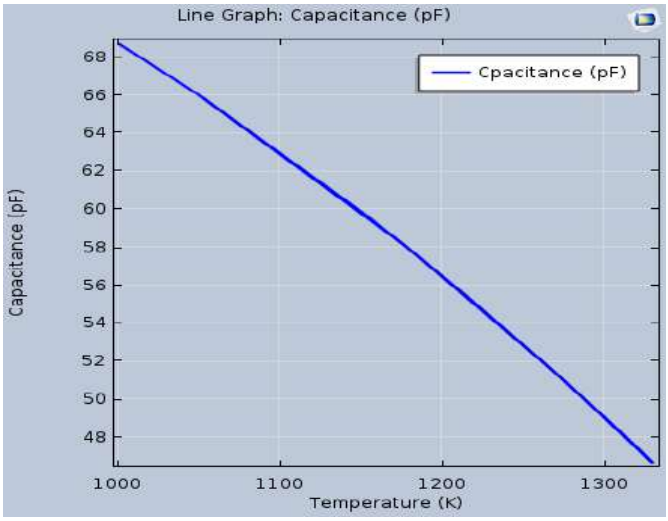
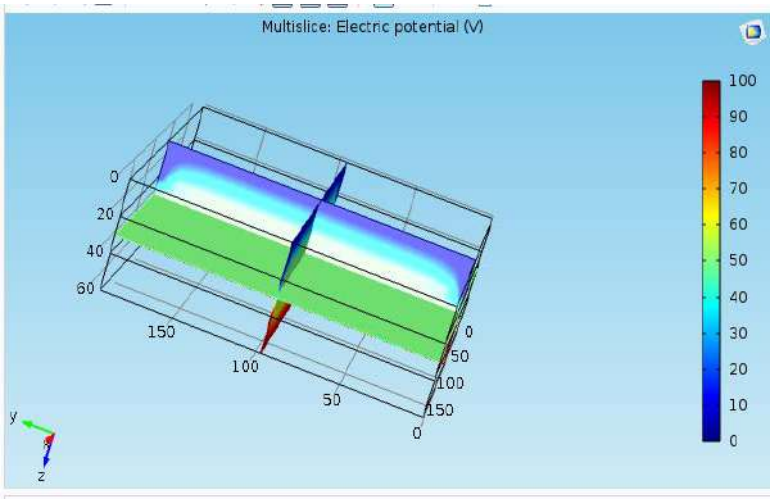


Figure (III.32): La variation de la Capacité en fonction de la température (K)

La capacité électrostatique des condensateurs varie généralement en fonction de la température de fonctionnement. On dit que les condensateurs ont de bonnes caractéristiques de température lorsque cette largeur de variance est petite ou de mauvaises caractéristiques de température lorsque la largeur de variance est grande. Lors de l'utilisation de condensateurs dans des endroits où les températures de fonctionnement sont élevées, comme à l'intérieur des salles des machines d'automobiles, ou dans des équipements électroniques utilisés dans desrégions froides comme l'Antarctique, la conception doit tenir compte des conditions de l'environnement de fonctionnement.

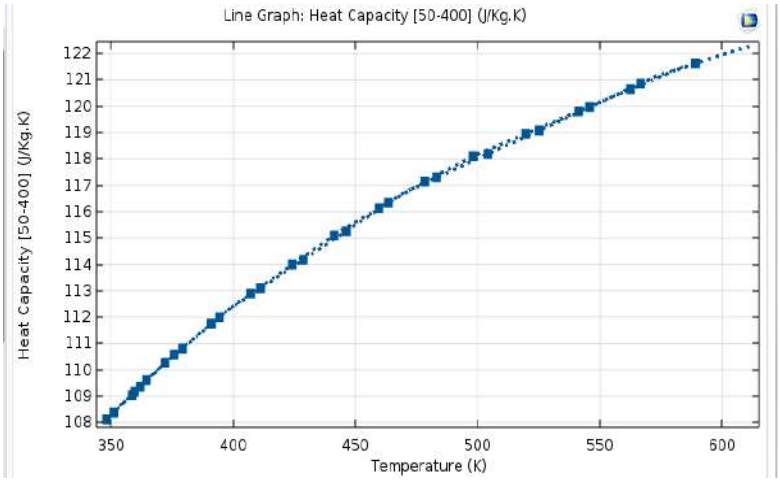
La figure(III.32) montre le taux de changement de capacité par rapport aux caractéristiques de température de céramique BaTiO3 de notre condensateur où il a montré

comme un exemple de condensateurs avec de bonnes caractéristiques de température. et présente de grands changements de capacité à haute température.

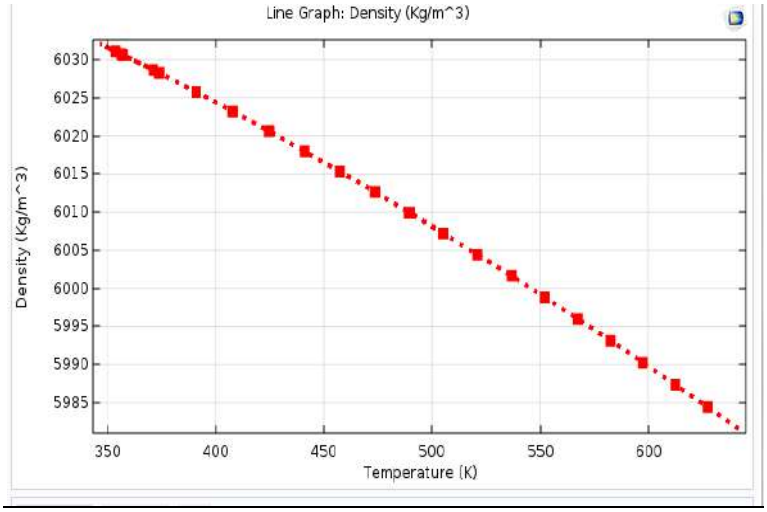


Figure(III.33) :La variation du potentiel électrique

La variation du potentiel électrique est tracé sur la figure (III.33) , elle représente les résultats qui permettent de calculer la quantité de potentiel électrique (le champs du potentiel) où il est plus élevé, à la quantité d'électricité positive. Dans l'idéalisation d'un condensateur dont les armatures sont faites de deux plans infinis, si l'on approche une particule chargée par l'extérieur (l'espace non compris entre les armatures). le champ de potentiel électrique est partout perpendiculaire aux surfaces planes des armatures et les lignes de champ sont donc des segments rectilignes perpendiculaires à ces surfaces lorsque le potentiel électrique atteint certain valeur elle commence à diminuer jusqu'à être nul car il existe toujours un champs électrique de "fuite" qui sort d'entre les armatures.



Figure(III.34) :L'évolution de la capacité thermique en fonction de la température



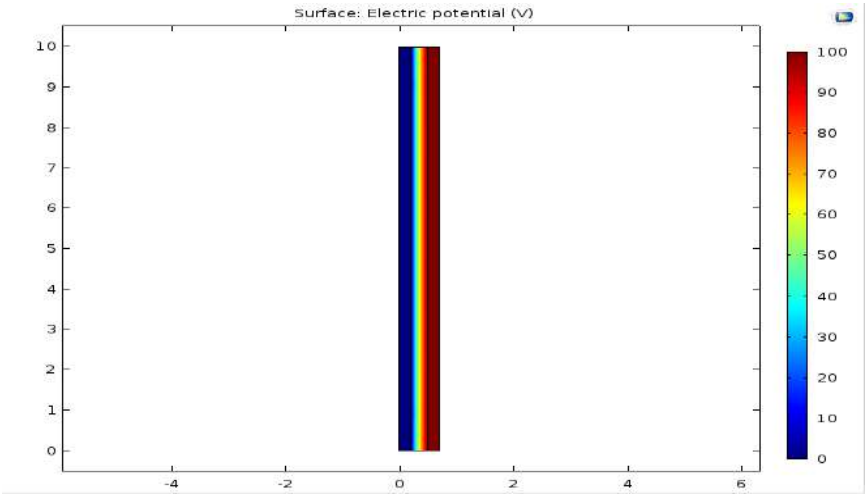
Figure(III.36):L'évolution de la densité fonction de la température

La capacité thermique est liée à la capacité de stockage d'énergie dans notre condensateur. Il est défini comme le flux de chaleur nécessaire pour changer le taux de température dans la parie de diélectrique d'une unité en une seconde la croissance de capacité thermique dans la figure (III.34) explique la croissance de la température plus la supposition qu'il n'y a aucune perte d'énergie. Comme nous avons un matériau de diélectrique à haute densité, ce qui signifie que les molécules sont très proches les unes des autres. Cela augmente certainement la capacité thermique de vibrer ou bous de la variation et de l'augmentation de la température. En d'autres termes, le matériau a une grande chaleur spécifique. D'après ce qui a été expliqué précédemment on peut comprendre la relation inverse entre la capacité thermique dans la figure (III.34) et la Densité dans la figure (III.35) et expliquer la décroissance de la densité en fonction de la température.

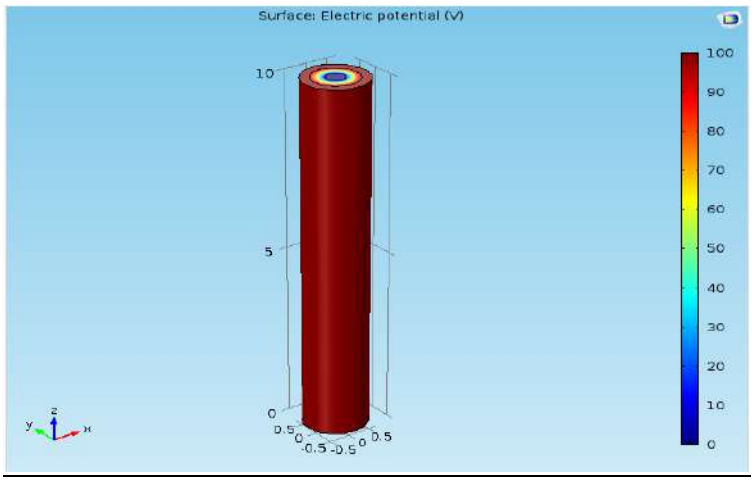
9.2 Résultatsobtenus pour le condensateur cylindrique

Après avoir fait l'étude de condensateur plane et suivre l'évolution des caractéristique de matériau diélectrique talque (la permittivité relative, densité, potentiel électrique..etc) en fonction de la température.Nous essayons dans cette prochainepartie de ce chapitre de voir l'influence des mêmes paramètres en fonction de la température mais cette fois ci pour un condensateur cylindrique qu'on a modélisé en suivant les mêmes étapes avec le plane.

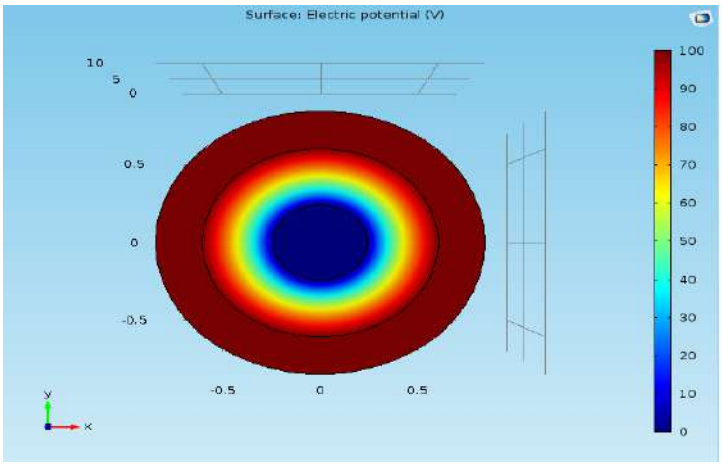
La simulation de condensateur cylindrique nous a donné les résultats suivants dans le but à comparer avec les précédentes afin de faire le meilleur choixdu matériau diélectrique et par conséquent une bonne qualité de condensateur.



Figure(III.37) :La variation du potentiel électrique section 2D



Figure(III.38):La variation du potentiel électriquesection 3D



Figure(III.39) :La variation du potentiel électriquecoupe transversale

Les figures (37-38-39), illustrent le phénomène de déplacement de potentiel électrique (le champ électrique). Le champs électrique crée par chacun des cylindres a une direction radiale. et les lignes de champ qui va traverser la surface du cylindre sortent donc de l'armature chargé positivement (en couleur bleu) et il commence à diminuer jusqu'à ce qu'il arrive à l'armature extérieure chargé négativement, et cela apparait dans la disparition

progressive et l'apparition de couleur bleu. L'émergence d'autres couleurs traduise les autres phénomènes tel que le transfert thermique au niveau de diélectrique.

Cette dernière s'explique par les quartes figures et/ou courbes suivantes :

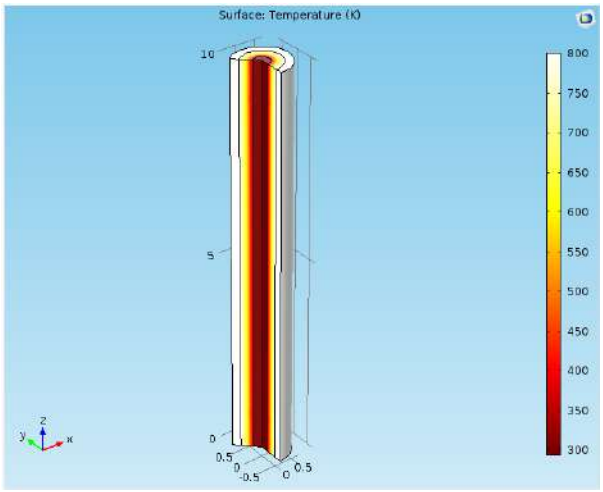


Figure (III.40): Le changement de transfert thermique à l'intérieur de diélectrique

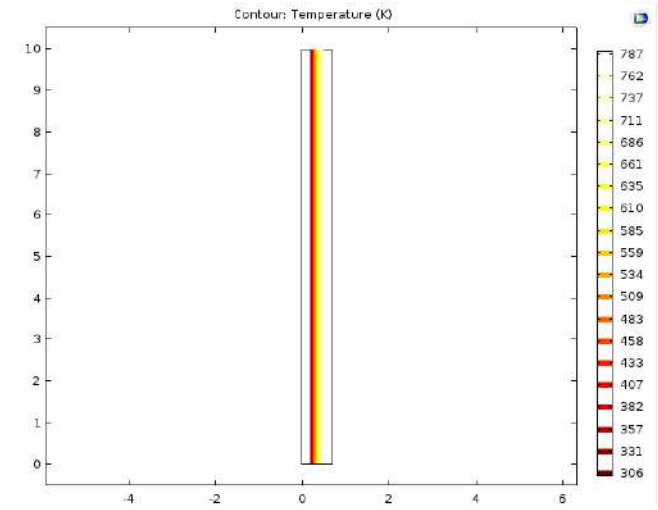


Figure (III.41) : Conteur isotherme

Les deux graphes précédents nous expliquent comment le phénomène de transfert thermique a été fait au niveau du diélectrique à cause de la haute température qui caractérise le matériau diélectrique choisi (BaTiO3) et qui est crée pendant le fonctionnement du notre condensateur (la charge et décharge) et qu'elle joue un rôletrès important, car elle a un effet négative si elle dépasse la valeur à laquelle le titane BaTiO3 peut résister et supporter pour un bon fonctionnement du condensateur.

Les graphes suivants illustrentet montrenttous ce qu'on a indiqué précédemment :

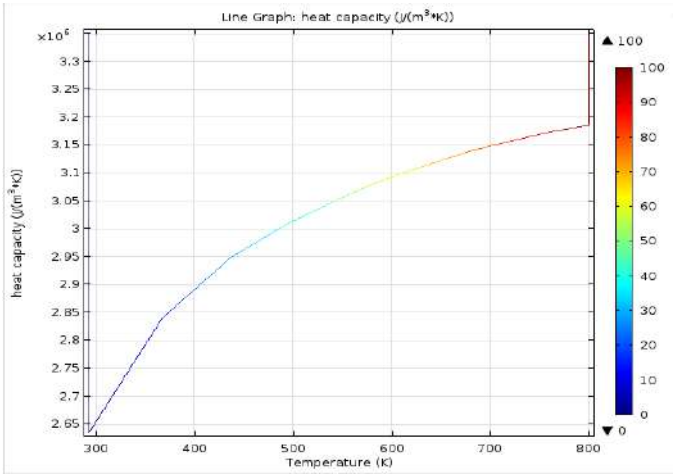
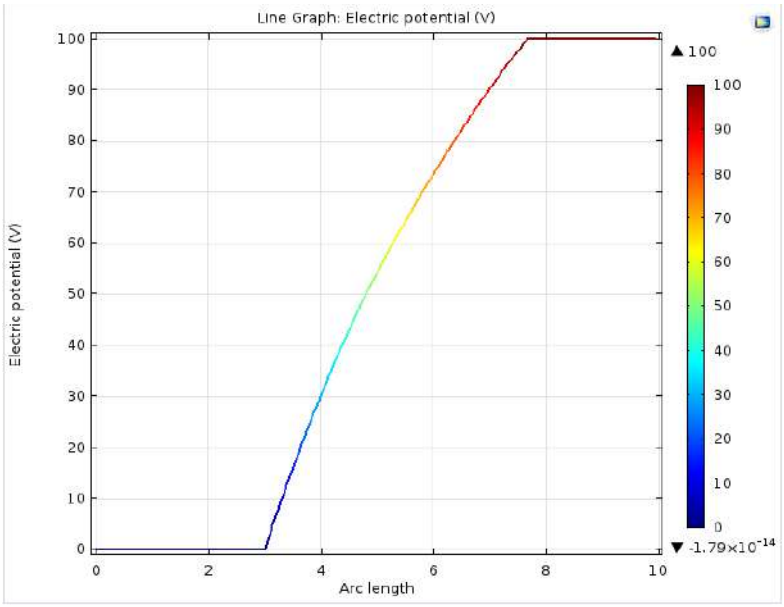
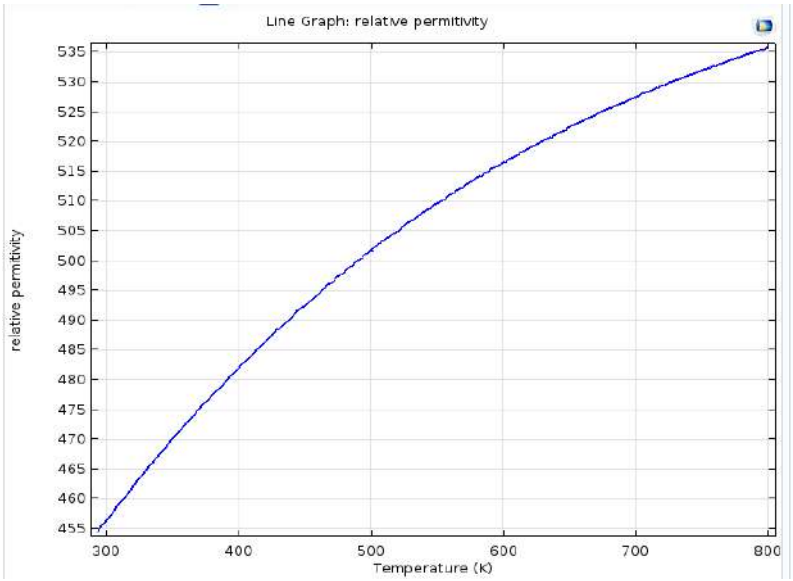


Figure (III.42): L'évolution de la capacité thermique
en fonction de la température

La figure (III.43) montre que l'évolution de la capacité thermique est entièrement lié à la quantité de chaleur crée et circule d'un cylindre à l'autre par le mode de conduction (entre un solide à un autre), en raison de l'augmentation progressive de la température telque la capacité commence àaugmenter régulièrement à partir de T = 300 K jusqu'à T= 800 K, pour atteindre la valeur maximale $C = 2{,}5 \cdot 10^{6}$ J/m^3 K



Figure(III.43):La variation du potentiel électrique
en fonction de l'épaisseur de diélectrique



Figure(III.44): La variation de la permittivité relative
en fonction de la température

D'après la figure (III.44) qui concerne la variation de la permittivité relative en fonction de la température, on peut constater facilement la difference entre ce qu'on a ici pour le condensateur cylindrique et ce qu'on a eu auparavant dans le condensateur plane. où dans l'intervalle de température [300-800] K , on trouve que le condensateur cylindrique est plus stable que l'autre, et ce qui confirme sa stabilité, c'est le changement régulier de permittivité sur tout le domaine de température et tout le long de volume et sans perturbation.

10. CONCLUSION

Dans ce chapitre, on a acquis des informations sur un nouveau logiciel (COMSOL MULTIPHYSICS5.1),L'étude que nous avons réalisée dans ce mémoire n'est qu'une toute petite partie et en préparation d'une étude plus large qui nous à conduit à penser de mobiliser les outils de laboratoire nécessaires pour combiner les deux parties : la simulation par un logiciel et la partie expérimentale afin de mieux comprendre les phénomènes qui se produisent au niveau du condensateur pour une qualité plus complète.

Visiblement, il reste beaucoup à faire pour comprendre les phénomènes qui se produisent au niveau de condensateur, parmi les prolongements possibles de notre travail :

- Une étude plus approfondie et plus rigoureuse sur la variation des caractéristique des matériaux diélectriques.
- Une étude similaire peut être élaborée pour les matériaux super conducteurs, car actuellement des chercheurs essaient de remplacer les plaques métalliques des condensateurs par des électrodes conductrices.
- Une étude concernant les techniques utilisées pour modifier la température de matériaux dans la gamme de température d'utilisation des composantes électroniques.

CONCLUSION GENERALE

Le présent travail a porté essentiellement sur la simulation du phénomène de l'électrostatique, utilisant le code calcul comsol multiphasiques.

Les matériaux diélectriques ont pris ces dernières années une importance considérable dans la fabrication des condensateurs destinés à divers applications électriques et électroniques. Le matériau céramique qu'on a utilisé constitue une famille de matériaux très performants pour les divers types d'applications diélectriques; condensateurs, convertisseurs électromécaniques, détecteurs infra- rouge, mémoires, micro-onde …..etc.

Depuis la découverte du phénomène de la variation des caractéristiques (propriétés) de matériaux diélectrique on fonction de la température et d'autre facteurs (pression,...etc), le titanate BaTiO3 a été une composante essentielle dans la fabrication des condensateurs à cause de sa constante diélectrique (permittivité relative) très élevée et son coefficient de température positif.

Dans notre mémoire, nous avons fait une modélisation de deux types de condensateur dans le but d'étudier par simulation en utilisant logiciel de COMSOL les phénomènes effectuées au niveau diélectrique (la variation de comportement physique), telque la variation de la permittivité relative, la capacité et la densité en fonction de la température. et voir l'influence de la température sur le principe de fonctionnement des condensateurs et bien évidement sur le changement qualitatifs subit par le matériau titane BaTiO3qui est utilisé comme un matériau du notre diélectrique.

Les principaux résultats se résument comme suit

- L'étude des propriétés diélectriques des céramiques dans un large domaine de température (de 273.5K à 800K) et (de T supérieure à 800 K) a conduit à la mise en évidence de deux comportements diélectriques différents (les pertes de permittivité dans le deuxième domaine).
- Les résultats intéressants obtenus nous ramènent à tester plusieurs matériaux diélectrique pour connaitre qui peut être parmi eux un bon concurrent de BaTi03 pour l'amélioration des propriétés diélectriques des composites.
- Le choix de matériaux diélectrique est très t important. il dépend de divers facteurs dont le plus marquant est la température.
- L'étude d'un phénomène par la simulation reste une méthode stérile et manque de la partie expérimentale, qui est une partie essentielle et complémentaire de la simulation

là où il y a encore des facteurs invisibles qui affectent sur constante diélectrique, il ne peut pas être étudié ou détecté qu'avec une étude expérimentale.

Finalement on peut dire que les exigences des domaines électrotechniques et électriques qui utilisent régulièrement les diélectriques liquides et solides nous oblige à intensifier les recherches et les études expérimentales et théoriques pour connaître le meilleur choix de matériau utilisés pour la fabrication de la diélectrique de condensateur qui résiste aux facteurs qui l'affectent négativement et sur le fonctionnement de condensateur et cela nécessite un travail d'équipe avec différentes disciplines (chimie, physique, électronique....etc), pas un travail individuel.

LES REFERANCES

[1] W. J. Sarjeant, J. Ziirnheld, F. W. MacDougall, “Capacitors”, IEEE transaction on PlasmaScience, Vol. 26, N5, Octobre 1998, pp 1368-1392

[2] G. Mouriès, “Condensateurs utilisés en électronique de puissance”, Techniques de l’ingénieur, traité de génie électrique, D 3 280. Éditions T.I. (Techniques de l'Ingénieur) saint denis France Mars 1989

[3] C. Hantouche, “Condensateurs de puissance”, Techniques de l’ingénieur, traité de génie électrique, D 4 710. Éditions T.I. (Techniques de l'Ingénieur). Saint Denis France Juin 1996.

[4] P. Venet, Surveillance d’alimentation à découpage. Application à la maintenance. 134 p. Thèse. Université Claude Bernard (Villeurbanne, Rhône) 1993

[5] Normes de la C.E.I, “Condensateurs fixes utilisés dans les équipements électroniques – Partie 1 : Spécification générique”, CEI 60384-1, Troisième édition 1999-03.

[6] R COUSSEAU “Contribution à la modélisation et à l’étude du vieillissement des condensateurs électrolytiques aluminium dédiés à des applications à hautes températures” -166 p. Thèse pour obtenir le grade de Docteur Spécialité : Génie Électrique- UTC Université de technologie de Compiègne 2015.

[7] Digi-Key. Principes de base : comprendre les caractéristiques des différents types de condensateurs pour les utiliser de manière appropriée et sûre. nord-américains: la contribution de Rédacteurs , 2020-09-17.

[8] Maawad Makdessi. Modélisation, vieillissement et surveillance de l’état de santé des condensateursfilms utilisés dans des applications avioniques. Energie électrique. Université Claude Bernard - LyonI, 2014. Français..

[9] https://fphy.usthb.dz/IMG/pdf/partie2.pdf

[10] https://lewebpedagogique.com/physiquempmantes/files/2016/12/DM4_corrig%C3%A9.pdf

[11] COUSSEAU, R. (16 Novembre 2015). Contribution à la modélisation et à'étude du vieillissement des condensateurs électrolytiques aluminiumdédiés à des applications à hautes temperature . Université de Technologie de Compiègne.

[12] E. Wainer, N. Solomon, High titania dielectrics, Trans. Electrochem. Soc. 89, (1946).

[13] T. Ogawa, S. Waku, On barium titanate ceramics, Busseiron Kenkyu 6, 1-27 (1947).

[14]A. Ianculescu, S. Guillemet-Fritsch, B. Durand, A. Brăileanu, M. Crişan, D. Berger, BaTiO3 nanopowders and nanocrystalline ceramics: I. Nanopowders, new developments in advanced functional ceramics, 89-117 (2007).

[15]V.N. Shut, S.V. Kostomarov, Properties of barium titanate powders in relation to the heat treatment of the barium titanyl oxalate precursor, Inorg. Mater. 48, 613-18 (2012).

[16] B. Seguin and J. P. Ferrieux, "Etude et modélisation de la résistance série equivalente ESR des condensateurs utilisés en électronique de puissance. Application au calcul des pertes en régime non sinusoidal," EDF'96 Grenoble,

[17]http://www-chimie.u-strasbg.fr/~decomet/data/cours/dielect_1.pdf

[18]http://ww2.cnam.fr/physique//PHR011_ELECTRICITE/02_C03_PHR%20011.pdf

[19]https://dspace.univ-guelma.dz/jspui/bitstream/123456789/10184/1/LELLOUCHE_NADIR_Electrotechnique.._R%C3%A9seaux%20%C3%A9lectriques.pdf

[20] : ZEMALI HOCINE & SOUFI AISSA , Estimation de la température de coupe lors du perçage, université KasdiMerbah Ouargla, 2015.

[21] : OUBICHE AYOUB BENKERANE OUALID, Simulation d'un système de climatisation d'une automobile avec le logiciel COMSOL multiphysics,Université KASDI Merbah Ouargla.

[22] : HABI MERIEM KHENGAOUI BOUCHRA , Simulation D'un Electroaimant, Université kasdiMerbah Ouargla, 2015, page 40.

[23] : MARIEM BEN HAMOUDA , Etude, conception et modélisation de la diffusion de la chaleur dans les tissus biologiques ,Université du Québec, mars 2015.

[24] : Introduction to comsol-multiphysics, Protected by U.S. Patents listed on www.comsol.com/patents .

[25] Thierry Passerat de Silans, Isabelle Maurin, Pedro Chaves de Souza Segundo, Solomon Saltiel, Marie-Pascale Gorza, Martial Ducloy, Daniel Bloch, Domingos de Sousa Meneses, Patrick Echegut :"Temperature dependence of the dielectric permittivity of BaTiO3 and Al_2O_3 : Application to theprediction of a temperature dependent van der Waals surface" . Laboratoire de Physique des Lasers, UMR7538 du CNRS et de l'Université Paris13, 99 av. JB Clément, Villetaneuse, France.

[26] Failache H, Saltiel S, Fichet M, Bloch D, Ducloy M 2003 "Resonant coupling in the van der Waals interaction between an excited alkali atom and a dielectric surface: an experimental study via stepwise selective reflection spectroscopy", *Eur. Phys. J. D*,**23**, 237-255 see also Fichet M, Schuller F, Bloch D, Ducloy M 1995 "van der Waals interactions between excited states and dipsersive dielectric surfaces, *Phys. Rev. A***51**, 1553

[27] Thomas M 1991"Temperature dependence of the complex index of refraction" *in "Handbook of Optical constants of solids II*" E. D. Palik ed., Elsevier Academic Press, pp. 177-201

[28] Denham P, Field GR, Morse PLR. Wilkinson GR, 1970 "Optical and dielectric properties and lattice dynamics of some fluorite structure ionic crystals", *Proceedings of the Royal Society of London, Series A Mathematical and Physical Sciences*,**317**, p55-77.