



N° d'ordre :/2016

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté des Sciences

Département de Physique

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de :

MASTER

Domaine : **Sciences de la matière**

Filière : **Physique**

Option : **Physique Appliquée : Physique des matériaux intelligents**

Par

LAKHNECHE ASSIA

THEME

Conception d'un capteur de pression à base d'un polymère élastomère.

Soutenue le : 08/06/2016

Devant le jury composé de :

IBRIR MILOUD	Prof Univ. de M'sila	Président
BELOUADAH RABAH	MCA Univ. de M'sila	Encadreur
ROKBLMANSOUR	MCB Univ. de M'sila	Co-encadreur
TORKI ZOHIR	MAA Univ. de M'sila	Examineur

Promotion Juin 2016

Remerciements

*Je remercie le grand " DIEU " pour la force et la volonté
qui m'a donnés Afin que je puisse a chever ce mémoire.*

*Ce mémoire est écrit de grâce a beaucoup de gens, qui étaient
à mes côtés et je voudrais les remercier :*

*Je commence par mes encadreurs M." BELOUADAH .R " et
" M. ROKBIM" maitres de conférence à l'université de m'sila
d'avoir proposé. dirigé et suivi ce travail.*

*Je remercie aussi Mr : " IBRIR.M" M.C à l'université de
M'sila pour l'honneur qu'il me fait en acceptant la présidence
du jury.*

*Mes vifs remerciements vont également à " TORKI.Z "
M.A à l'université de M'sila d'avoir accepté d'examiner
ce travail.*

*Je tiens à remercier tous ceux qui m'ont aidé de prés ou
de loin.*

DEDICACES

Je dédie ce mémoire à :

· Mes parents :

Ma mère, qui a oeuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Mes frères et sœurs qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

Mes amis A qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite.

Mes professeurs de physique qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis.

Tables des matières

<i>Introduction générale</i>	1
Chapitre I : Généralistes sur les polymères électro-actifs.	
<i>1.Introduction</i>	3
<i>2.Définition</i>	3
<i>3. Classification des polymères</i>	3
3.1. La famille électronique.....	4
3.2.La famille ionique.....	4
<i>4. Principales caractéristiques des deux familles</i>	6
<i>5.Propriétés en mode actionneurs</i>	7
5.1. Principe de fonctionnement polymère piézoélectrique	8
5.2. Principe de fonctionnement polymère électrostrictif	9
5.3. Principe de fonctionnement des polymères diélectriques.....	10
5.4. Actionneur.....	11
<i>6. Propriétés en mode générateurs</i>	12
6.1. Les matériaux piézoélectriques.....	13
6.2. Matériaux électrostrictifs.....	14
6.3. Les polymères diélectriques.....	14
6.4. Les polymères ioniques.....	16
<i>1.7. Conclusion</i>	16

Chapitre II : *Elaboration et caractérisation mécanique.*

1- Introduction.....	18
2- Les objectifs du ce travail.....	18
3- Procédure d'élaboration	18
4-Résultat d'élaboration.....	21
4-1- Le microscope	21
4-2 - Banc expérimental et principe de mesure	23
4-2-1- Le cas de l'expansion.....	25
4-2-2-1- Le module de Young E.....	25
4-2-2-2 -Le coefficient de Poisson ν	28
5- Conclusion.....	30

Chapitre III : *Résultats et discussions.*

1- Introduction.....	32
2-Procédure experimental.....	32
3-banc de mesure V_s et R_s et ρ.....	33
3-1- Le cas d'expansion.....	33
3-2- Le cas de pression	39
4- Conclusion	46
Conclusion Générale.....	47

Liste des figures

Figure I.1: Effet piézoélectrique.....	8
Figure I.2: Principe de fonctionnement en mode actionneur d'un polymère diélectrique....	10
Figure I.3: Représentation schématique d'un actionneur IPMC (Ionic Polymer-Metal Composite)	11
Figure I.4: Énergies mises en jeu lors du processus de récupération d'énergie.....	12
Figure I.5: le mécanisme de base du mode générateur d'un polymère diélectrique	15
Figure II.1: Les matières utilisées pour préparer des échantillons élaborés.....	19
Figure II.2: Les échantillons élaborés.....	20
Figure II.3: Le composition d'échantillon.....	20
Figure II.4: L'image microscopique de silicone pure.....	21
Figure II.5: L'image microscopique de silicone+ 1% masse de carbone.....	21
Figure II.6: L'image microscopique de silicone+ 10% masse de carbone.....	22
Figure II.7: L'image microscopique de silicone+ 50% masse de carbone.....	22
Figure II.8 : Le circuit électrique utilise.....	24
Figure II.9: Le module de Young E (sans traitement thermique) en fonction de force.....	25
Figure II.10: Le module de Young E (avec traitement thermique) en fonction de force.....	26
Figure II.11: Le pente de E(sans traitement thermique) en fonction de C%.....	27
Figure II.12: Le coefficient de Poisson ν (sans traitement thermique) en fonction de force..	28
Figure II.13: Le coefficient de Poisson ν (avec traitement thermique) en fonction de force..	29
Figure III.1 : Le circuit électrique utilisé.....	33
Le cas d'expansion :	
Figure III.2 : La tension d'échantillon V_s (sans traitement thermique) en fonction de force F(N).....	34
Figure III.3 : La résistance d'échantillon R_s (sans traitement thermique) en fonction de force F(N).....	34

Figure III.4 : La résistivité ρ ($\Omega.m$) (sans traitement thermique) en fonction de force	....35
Figure III.5 : La tension d'échantillon V_s (volt) (avec traitement thermique) en fonction de force F(N).	.....36
Figure III.6 : La tension d'échantillon V_s (volt) (silicone +50% masse de carbone) en fonction de force F(N).	.....36
Figure III.7 : La résistance d'échantillon R_s (Ω) (avec traitement thermique) en fonction de force F(N)	.....37
Figure III.8 : La résistance d'échantillon R_s (Ω) (silicone +50% masse de carbone) en fonction de force F(N).	.....37
Figure III.9 : La résistivité ρ ($\Omega.m$) (avec traitement thermique) en fonction de force	....38
Figure III.10 : La résistivité ρ ($\Omega.m$) de (silicone +50% masse de carbone) en fonction de force F(N).	.....38
Le cas de pression	
Figure III.11 : La tension d'échantillon V_s (volt) (sans traitement thermique) en fonction de force F(N).	.....40
Figure III.12 : La tension d'échantillon V_s (volt) de (silicone +50% masse de carbone) en fonction de force F(N).	.....40
Figure III.13 : La résistance d'échantillon R_s (Ω) (sans traitement thermique) en fonction de force F(N).	.....41
Figure III.14 : La résistance d'échantillon (silicone +50% masse de carbone) R_s (Ω) (sans traitement thermique) en fonction de force F(N).	.....41
Figure III.15 : La résistivité ρ ($\Omega.m$) (sans traitement thermique) en fonction de force..	42
Figure III.16 : La résistivité ρ ($\Omega.m$) de (silicone +50% masse de carbone) en fonction de force F(N).	.....42
Figure III.17 : La tension d'échantillon V_s (volt) (avec traitement thermique) en fonction de force F(N).	.....43

Figure III.18 : La tension d'échantillon V_s (volt) de silicone +50% masse de carbone en fonction de force F(N).	44
Figure III.19 : La résistance d'échantillon R_s (Ω) (avec traitement thermique) en fonction de force F(N).	44
Figure III.20 : La résistance d'échantillon R_s (Ω) de silicone +50% masse de carbone en fonction de force F(N).	45
Figure III.21 : La résistivité ρ ($\Omega.m$) (avec traitement thermique) en fonction de force F(N).	45
Figure III.22 : La résistivité ρ ($\Omega.m$) de silicone +50% masse de carbone en fonction de force F(N).	46

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Classification des polymères électro-actifs.....	5
Tableau I.2 : les avantages et les inconvénients des EAPs électroniques et ioniques tel que décrit par Bar Cohen.....	6
Tableau I.3 : caractéristiques principales des quatre classes de polymères électro-actifs en fonctionnement actionneurs.....	7
Tableau II.1 : Les caractéristiques des échantillons élaborés.....	19
Tableau II.2 : Les dimensions des échantillons élaborés.....	19
Tableau II.3 : Les valeurs de module de Young E de tout l'échantillon.....	25
Tableau II.4 : Les valeurs de module de Young E de tout l'échantillon.....	26
Tableau II.5 : Les valeurs de coefficient de Poisson ν de tout l'échantillon.....	28
Tableau II.6 : Les valeurs de coefficient de Poisson ν de tout l'échantillon.....	29

Introduction générale

L'objectif de ce travail est la conception d'un capteur pouvant mesurer la contrainte appliquée sur laquelle (la force appliquée) et pour ce but et d'après étude des plusieurs matériaux polymères a été choisi le silicone pour le utiliser comme matériau principale.

Le silicone est un élastomère synthétique obtenu par la synthèse de hauts polymères possédant des propriétés technologiques exceptionnelles.

- Résistance aux températures – hautes et basses,
- Vieillessement pratiquement nul,
- Neutre et non toxique,
- Excellentes propriétés diélectriques,
- Anti-adhérent,

Et pour acquérir de nouvelle propriété pour ce capteur nous avons le chargé par des charges de graphite ,on a fait une étude des propriétés mécanique (le module de Young E et le coefficient de poisson ν) et aussi les propriétés électrique (la tension d'échantillon V_s et la résistance d'échantillon R_s et le résistivité ρ) .

Ce travail est décomposé en trois chapitre :

Le premier chapitre : est consacré à une présentation générale sur les polymères électro-actifs.

Le second chapitre : présente les outils et les procédés expérimentaux utilisés au cours la thèse ils sont pour l'essentiel composé d'un système d'essais mécanique avec un dynamomètre et micromètre et pied à coulisse et un oscilloscope pour déterminer la tension.

Le troisième chapitre : regroupe les divers résultats expérimentaux obtenus et leur discussion.

Chapitre I
Généralités sur les
polymères électro-actifs

1-Introduction

Les polymères sont certainement les premiers matériaux utilisés par l'Homme. En effet ces constituants, essentiels avec l'eau, de la matière organique, sont présents dans tous les matériaux utilisés pour élaborer des outils et ou des vêtements : bois et fibres végétales, cuir, tendons d'animaux, laine, Ils sont généralement utilisés pour leurs propriétés mécaniques particulières et leur aptitude à être mis en œuvre. Ce chapitre a pour objet une présentation des principales générales sur les polymères électro actifs. et se focalise ensuite sur l'effet de force sur les polymères électro actifs.

2. Définition

Les polymères électro actifs sont des composés organiques légers, flexibles et capables de répondre à une stimulation électrique par un changement en dimensions, et formes.

Historiquement, les premiers matériaux électroactifs durs ont été découverts en 1880 (Pierre et Jacques Curie) avec la piézoélectricité. Mais, il faut attendre 1949 et Katchalsky pour obtenir des polymères stimulés chimiquement. Et ce n'est que depuis le milieu des années 90 [1] , [2]. que l'on s'intéresse aux polymères stimulés électriquement. Bar-Cohen [2] a développé une classification de ces polymères, adoptée depuis par la communauté scientifique et qui sert de base à notre étude. Cette classification est reportée tableau 1.1.

3. Classification des polymères

La dénomination « polymère électroactif » est très générale et cette classification permet de visualiser les matériaux englobés sous ce terme.

Deux grandes catégories se distinguent selon leur actionnement : la famille électronique et la famille ionique [2].

3.1 La famille électronique

Appelés « Electronics EAP » en anglais, les polymères de cette famille sont activés par un champ électrique extérieur.

Généralement, une structure à base de polymère électronique est composée du matériau électroactif pris en sandwich entre deux électrodes.

Ces polymères ont des performances attractives au niveau de la conversion électromécanique. Le couplage peut être linéaire (piézoélectricité) ou non linéaire, tel une évolution au carré (électrostriction, force électrostatique type pression de Maxwell).

Ainsi, la famille électronique est composée de sous familles ou classes, chacune se référant à un phénomène particulier d'activation due à des propriétés électriques intrinsèques (tableau 1.1).

3.2 La famille ionique

Appelés « Ionic EAP » en anglais, ces polymères se basent sur une diffusion d'ions ou de molécules au sein du matériau.

Les actionneurs utilisant des « ionic polymers » ont généralement la même structure qu'une pile, soit deux électrodes séparées par un électrolyte.

De même que pour la famille électronique, la famille ionique est divisée en sous familles basées chacune sur un principe physique ou chimique particulier (voir tableau 1.1).

	Nom	Principe physique	Exemple de matériau
Famille électronique	Polymère ferroélectrique	matériau qui possède, à l'échelle des domaines élémentaires, un moment dipolaire permanent (exemple : piézoélectricité, électrostriction).	<ul style="list-style-type: none"> ● piézoélectrique : PZT, PVDF ● électrostriction : P (VDF-TrFE), P (VDF-TrFECTFE)
	Electrets	matériau ayant une polarisation électrique non nulle après exposition à un fort champ électrique ou après injection de charges (Corona poling)	PVDF, Polypropylène (PP) ou PTFE chargé
	Elastomère diélectrique	matériau fonctionnant sur le principe d'une capacité variable : effet électrostatique entre charges.	acrylate : VHB 4910 de 3M® ● silicone : HS3 de Dow Corning®
	Elastomère électrostrictif greffé	matériau ferroélectrique type électrostrictif qui a la particularité d'être composé d'une matrice flexible et d'un polymère greffé sous forme cristalline.	matrice : copolymère du chlorotrifluoroéthylène ou trifluoroéthylène ● greffe : P (VDF-TrFE)
	Papier électro actif	matériau type papier composé d'une multitude de particules (fibre naturelle) formant un réseau et, combinant des propriétés piézoélectriques à une migration ionique	cellulose prise en sandwich entre deux électrodes métalliques (or, platine...)
	Elastomère électro viscoélastique	matériau composé d'un élastomère en silicone et d'une phase polaire. Il se comporte comme un fluide électro rhéologique.	
	Elastomère LCE (liquide cristal élastomère)	matériau qui possède des propriétés piézoélectriques et qui se déforme en réponse à un gradient thermique (Effet Joule pour une activation électrique)	
Famille ionique	Gel ionique	matériau qui devient dense (contraction) ou gonflé (étirement) lors du passage d'un environnement acide à un environnement alcalin.	Polysarcie Ionitryle
	Composite ionique (IPMC)	matériau qui se courbe en réponse à un champ électrique par migration ionique au sein d'une membrane sélective d'ions.	membrane sélective : Nafion® ou Flemion® ● électrode : platine, or
	Polymère conducteur ionique (CP)	matériau sujet à des réactions d'oxydoréduction qui induisent des variations de volume.	CP : poly pyrrole, poly aniline
	Nanotubes de carbone	matériau dont la balance électronique entre le nanotube et l'électrolyte est modifiée par injection de charges, ce qui induit des changements de dimensions.	
	Fluide électro rhéologique	matériau sujet à des migrations de particules, qui fait varier les propriétés rhéologiques du fluide comme la viscosité	LID 3354 d'ER Fluide Développements Ltd.

Tableau I.1 : Classification des polymères électro-actifs[2].

4. Principales caractéristiques des deux familles

EAPs	Avantages	Inconvénients
Electronique	<ul style="list-style-type: none"> - Force générée importante - Temps de réponse court - Fonctionne dans des conditions ambiantes - Durée de vie importante 	<ul style="list-style-type: none"> - Champ électrique d'actionnement élevé (de 20 à 150 MV/m) - Sens de la déformation unique pour les couplages quadratiques - Le fonctionnement à basse température dépend de la température de transition vitreuse
Ionique	<ul style="list-style-type: none"> - Champ électrique d'alimentation faible (10kV/m) - Déplacements importants - sens de la déformation fonction de la polarité de la tension 	<ul style="list-style-type: none"> - Faible force générée - Couplage électromécanique faible - Temps de réponse lent - Condition d'utilisation particulière (milieux humides...)

Le tableau I.2 : les avantages et les inconvénients des EAPs électroniques et ioniques tel que décrit par Bar Cohen [2].

Le tableau I.2 présente les polymères électroniques ont également une densité énergétique élevée ainsi que d'un temps de réponse rapide de l'ordre de quelques millisecondes. En général, ces matériaux ont une température de transition vitreuse insuffisante pour les applications à faible température d'actionnement. Par contre les polymères ioniques peuvent présenter de grandes déformations via des phénomènes de gonflement induits par la mobilité des ions et requièrent une tension d'alimentation faible. Mais ils sont plus lents et délicats à utiliser car basés sur une migration ionique. Pour une première comparaison entre les deux familles, il apparaît qu'ils ont des domaines d'application distincts. L'utilisation des polymères électroniques sera évidente pour des applications qui nécessitent de hautes densités de force, tandis que la famille ionique est plus adaptée aux applications de faibles tensions.

5. Propriétés en mode actionneur

Dans ce paragraphe, un état de l'art sur les différentes classes de matériaux mentionné dans le dernier paragraphe a été réalisé en regroupant tous les travaux publiés sur ces matériaux électro-actifs [4-9]. Le tableau I.3 [10] résume les principales caractéristiques mécaniques et électriques des différentes classes de polymères. Cette synthèse nous permet de faire une comparaison lors des essais en actionneurs des composites développés au LGEF.

	Matériaux Electro-actifs	Déformation	Pression maximale en (MPa)	Module deYoung en (GPa)	Densité d'énergie spécifique en (J/g)	Densité d'énergie en (J/cm ³)	Masse volumique
Piézoélectricité	Céramique (PZT)	0.2	110	65	13.10^{-3}	0.1	7.8
	Polymère(PVDF)	0.1	4.8	3	13.10^{-4}	24.10^{-4}	1.78
L'électrostriction	P(VDF-TrFE)	3.5	20	1	0.35	0.67	1.9
Polymère diélectrique	Acrylique	380	7.2	2.10^{-3}	3.4	3.4	1
	Silicone	63	3.0	$< 2.10^{-3}$	0.75	0.75	
	<i>IPMC</i> (Ionic Polymer-Metal Composite)	10	3 à 15	0.1 à 1	0.01	0.007	1.5

Tableau I.3: caractéristiques principales des quatre classes de polymères électro-actifs en fonctionnement actionneurs [10].

5.1. Principe de fonctionnement des polymères piézoélectriques

La piézoélectricité (1880, Pierre et Paul-Jacques Curie) est la propriété que possèdent certains matériaux de se polariser électriquement sous l'action d'une sollicitation mécanique extérieure et, réciproquement, de se déformer lorsqu'on leur applique une tension électrique [11].

Ces phénomènes sont appelés respectivement l'effet piézoélectrique direct et l'effet piézoélectrique inverse (figure I.1).

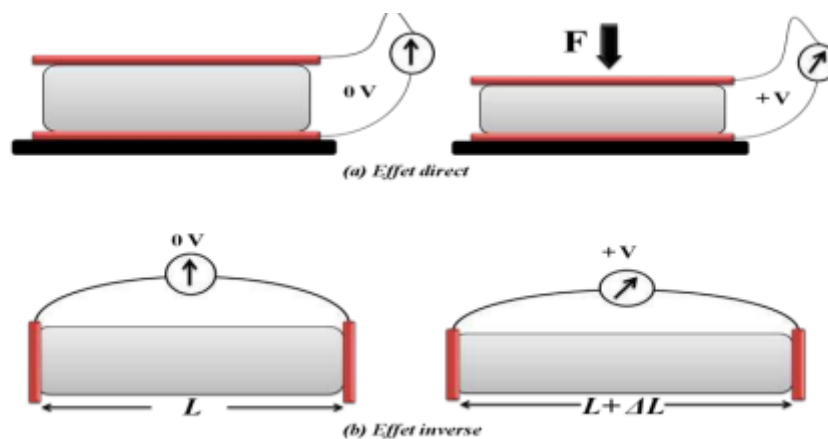


Figure I.1: Effet piézoélectrique [11].

L'effet piézoélectrique est un phénomène propre à certains types de matériaux. Ce phénomène est expliqué par le déplacement d'un moment dipolaire à l'intérieur même de la maille du matériau, produisant une séparation du barycentre des charges positives et négatives, et engendrant par conséquent une relation multiphysique entre la mécanique et l'électrique.

Après l'application d'une tension électrique, le matériau se déforme et la déformation produite est proportionnelle au champ électrique. Cependant quand la tension électrique devienne plus grande, la courbe de déformation dérive de cette tendance linéaire et un cycle d'hystérésis significatif apparaît, dû à la réorientation de la polarisation. Cette linéarité peut parfois limiter l'usage de ce matériau.

5.2. Principe de fonctionnement des polymères électrostrictifs

L'électrostriction est une propriété de tous les diélectriques due à la présence de domaines électriques répartis aléatoirement à l'intérieur du matériau. Lorsqu'un champ électrique est appliqué chaque domaine se polarise suivant l'axe du champ. Les côtés opposés des domaines se chargent de façon opposée et s'attirent mutuellement, provoquant une réduction de leur dimension dans la direction du champ électrique (et conjointement un allongement de leurs dimensions perpendiculaires au champ, dans les proportions du coefficient de Poisson). La déformation résultante S est proportionnelle au carré de la polarisation P [12]: on dit qu'il s'agit d'un effet du second ordre. Mathématiquement, l'électrostriction est représentée par un tenseur d'ordre 4 noté en général. Il relie les composantes du tenseur des déformations (tenseur d'ordre 2) noté ici et deux composantes du tenseur polarisation (tenseur d'ordre 1) noté en général. L'équation de l'électrostriction s'écrit alors :

$$s_{ij} = Q_{ijkl} p_k p_l$$

Or, comme les polymères électrostrictifs ont des propriétés diélectriques linéaires, pour des amplitudes du champ électrique faibles (inférieur à 10v/um), la polarisation électrique P est proportionnelle au champ électrique E

$$p = (\varepsilon - \varepsilon_0)E$$

avec

ε permittivité du matériau en $F.m^{-1}$

ε_0 permittivité du vide ($8.85. 10^{-12}. F.m^{-1}$)

Ainsi, la déformation est une fonction quadratique du champ appliqué (I-3), et pour un faible champ électrique (inférieur à 10v/ um).

$$s_{ij} = M_{ij}E^2$$

Avec M_{ij} coefficient d'électrostriction.

Le comportement électrostrictif existe dans les diélectriques (polymères ou céramiques) non symétriques (appelé 1^{er} forme) ou se retrouve au sein de polymères électrostrictifs à changement de phase (appelé 2nd forme). La seconde forme apparaît pour les dérivés du

PVDF tel le co-polymère P(VDF-TrFE) ou le terpolymère P(VDF-TrFE-CTFE), polymères semi-cristallin dont les performances sont fonction des changements de phases (ferroélectrique- paraélectrique). Ce mode de fonctionnement en actionneurs sera discuté plus en détail dans les prochains paragraphes de ce manuscrit.

5.3. Principe de fonctionnement des polymères diélectriques

L'utilisation possible d'un polymère diélectrique (DP) comme un moyen d'actionnement a été initialement proposé par SRI International en 1998[13]. Les polymères diélectriques (élastomère en silicone ou acrylique par exemple HS3, commercialisé par la compagnie Dow Coming) fonctionnent sur le principe d'une capacité variable. Ils sont constitués d'une feuille d'élastomère revêtue sur ses deux faces d'une couche d'un matériau conducteur hautement élastique fonctionnant comme électrode. Lorsqu'une tension est appliquée, une pression électrostatique σ_m , appelée pression de Maxwell, apparaît aux bornes des électrodes. Cette pression électrostatique induit une pression mécanique sur les électrodes supérieure et inférieure, si bien que le polymère se contracte selon son épaisseur (3) et s'étend selon son aire (1, 2) (Figure I.2).

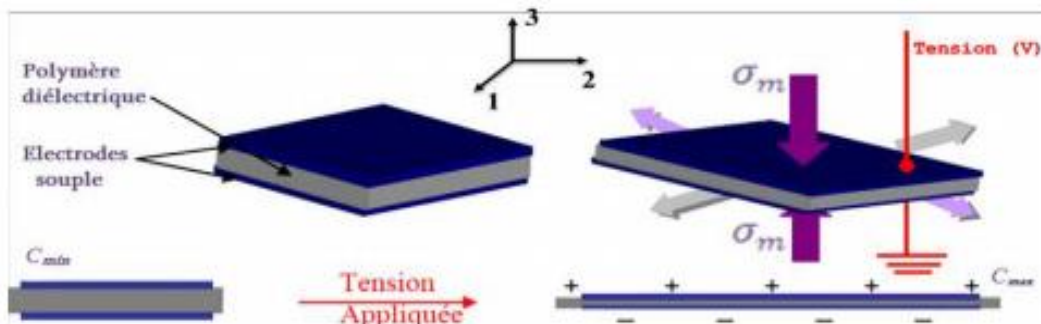


Figure I.2: Principe de fonctionnement en mode actionneur d'un polymère diélectrique [13].

Une capacité variable impliquant un polymère diélectrique souple présente des changements de dimensions selon les trois directions (plan et épaisseur). Ces variations de dimensions induisent des variations de capacité (C_{max} et C_{min}) qui peuvent être plus importantes que celles générées par une capacité variable « classique », mettant en oeuvre des variations selon une seule direction (généralement l'épaisseur).

5.4. Actionneur

Depuis les dernières années, le composite métal-polymères ioniques (IPMC) ont donné lieu à un grand nombre de recherche [14] [15], et sont utilisés essentiellement pour des déplacements en fléchissements à des faibles valeurs en tension. Ces systèmes sont réalisés à partir de membranes organiques conductrices d'ions telles que le Nafion et le Flemion sur lesquelles sont déposées des électrodes. Le principe de fonctionnement est illustré dans la figure I.3.

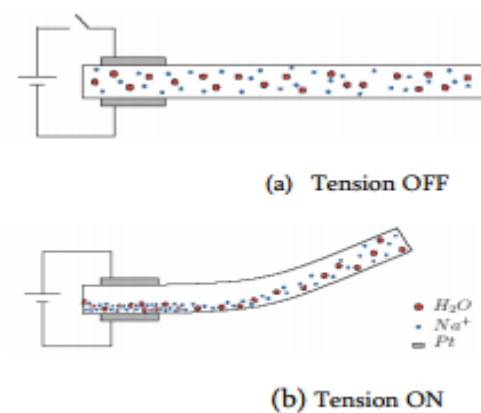


Figure I.3: Représentation schématique d'un actionneur IPMC (Ionic Polymer-Metal Composite) [15].

Le déplacement des IPMC est dû aux variations de volume liées à des forces électrostatiques générées par une migration ionique au sein de la membrane.

Un des inconvénients réside dans le fait que les IPMC nécessitent de l'eau pour un fonctionnement optimal. Un système fonctionnant dans l'air ambiant devrait être humidifié toutes les 3–5 minutes, à cause des pertes d'eau dans les électrodes et par évaporation. Enfin, le mouvement initial est très rapide, plus petit que 0.1, mais pour atteindre des angles de déflexion élevés, le temps nécessaire pour arriver à la position final est nettement plus long, il varie avec la tension. Pourtant, les IPMC font l'objet d'études nombreuses tant dans l'élaboration de nouveaux procédés de fabrication, que pour leurs applications [16],[17], [18].

6. Propriétés en mode générateur

Après l'étude des polymères en mode d'actionnement, une étude en mode générateur est nécessaire pour une meilleure comparaison et compréhension des polymères électro-actifs sélectionnés. Avant de commencer cette étude, il convient de poser des hypothèses nécessaires pour fixer une base commune de comparaison. Pour cela il faut partir du rendement global d'un dispositif de récupération d'énergie présenté en figure I.4, inspiré de[19].

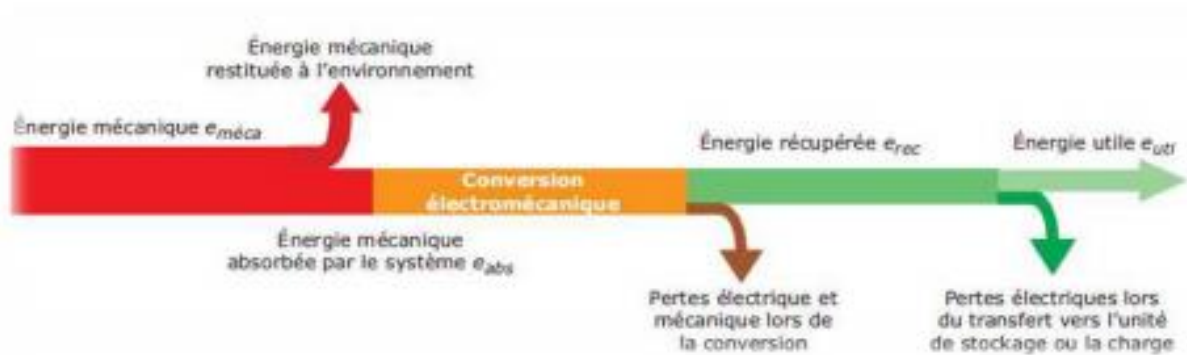


Figure I.4: Énergies mises en jeu lors du processus de récupération d'énergie [19]

Ce rendement tient compte de l'étage de gestion électrique, il est donné par l'équation (I-4) :

$$\eta_{totale} = \eta \eta_{ges}$$

avec $\eta_{ges} = \frac{e_{uti}}{e_{rec}}$, le rendement de l'étage de gestion électrique

et $\eta = \varepsilon_{abs} \eta_{conv}$, où ε_{abs} et η_{conv} correspondent au rapport :

$$\varepsilon_{abs} = \frac{e_{abs}}{e_{méca}}, \text{ le coefficient d'absorption mécanique}$$

$$\eta_{conv} = \frac{e_{abs}}{e_{méca}} \text{ le rendement de conversion électromécanique}$$

e_{abs} énergie absorbée par le polymère

$e_{méca}$ énergie mécanique apportée au polymère

e_{rec} énergie électrique récupérée

e_{uti} énergie électrique utile

Si on suppose que le rendement de gestion électrique est sensiblement le même pour ces quatre polymères, la connaissance du rendement de conversion permet de comparer et de classer ces types de matériaux. Ainsi les modèles établis au cours des prochains paragraphes ne tiennent compte que de l'étape de conversion électromécanique.

6.1. Matériaux piézoélectriques

Au vu de la définition de la piézoélectricité, ce matériau est dit actif : la conversion de l'énergie mécanique en électricité avec un matériau piézoélectrique est directe. Elle ne nécessite pas de source secondaire de polarisation externe. Le coefficient de couplage du matériau, qui donne le rapport entre l'énergie convertie et l'énergie totale (norme IEEE Std 176-1987 [20]), est un outil très utilisé et efficace pour analyser les propriétés des générateurs piézoélectriques.

On définit donc le coefficient de couplage électromécanique dont le carré est égal au rapport entre l'énergie électrique stockée dans le matériau piézoélectrique et l'énergie mécanique appliquée à ce matériau pour l'effet direct (équation I-6), et au rapport entre l'énergie mécanique stockée dans le matériau piézoélectrique et l'énergie électrique appliquée à ce matériau pour l'effet inverse (équation I-5) :

$$k = \sqrt{\frac{\text{energie electrique stokee}}{\text{energie mecanique appliquee}}}$$

A partir des différentes constantes propres du matériau, on peut alors exprimer les coefficients de couplage pour divers modes. Les formules (I-7) et (I-8) expriment les coefficients de couplage respectivement pour le mode longitudinal, et le mode transversal.

$$k_{33} = \frac{d_{33}}{\sqrt{\varepsilon_{t33} S E_{33}}}$$

$$k_{31} = \frac{d_{31}}{\sqrt{\varepsilon_{t31} S E_{31}}}$$

Les indices correspondent aux notations classiques, c'est-à-dire que les indices 1, 2 et 3 sont les axes principaux (avec par convention l'axe 3 correspondant à l'axe de polarisation).

Il est possible de calculer les densités maximales d'énergie électrique récupérable à partir de la définition du coefficient de couplage (équation I-5 et I-6).

$$e_{elec} = k^2 e_{meca} = \frac{1}{2} k^2 \gamma S^2$$

Avec Y module de Young et S déformation maximale. Au vu des calculs dans les travaux effectués par Claire Jean-Mistral [19], la classe de polymères piézoélectriques susceptibles de récupérer le plus d'énergie est celle des piézocomposites type MFC, avec une valeur de 30 m/cm^3 . Cette valeur de densité nous servira par la suite de référence pour comparer les différents polymères électro-actifs. Mais du point de vue du couplage électromécanique, les monocristaux sont les candidats qui produisent les meilleures performances [21] [22].

6.2 Matériaux électrostrictifs

Dans l'électrostriction, le matériau subit un seul effet contrairement à la piézoélectricité, c'est-à-dire qu'une contrainte n'entraîne pas de polarisation du matériau [23] [24]. Ce matériau est dit passif. Pour convertir de l'énergie mécanique en électricité, le polymère doit subir des cycles énergétiques.

6.3. Les polymères diélectriques

A partir de phénomène décrit dans le paragraphe 5.3, il est possible de récupérer de l'énergie comme l'a démontré Jean-Mistral [25]. En effet, si on applique une tension électrique à un élastomère étiré, des charges électriques sont déposées au niveau des électrodes. Lorsqu'on relâche la contrainte mécanique, la contraction qui en découle (pression mécanique) travaille contre la pression électrostatique et génère ainsi de l'énergie électrique [26]. Figure I.5 illustre le mécanisme de base.

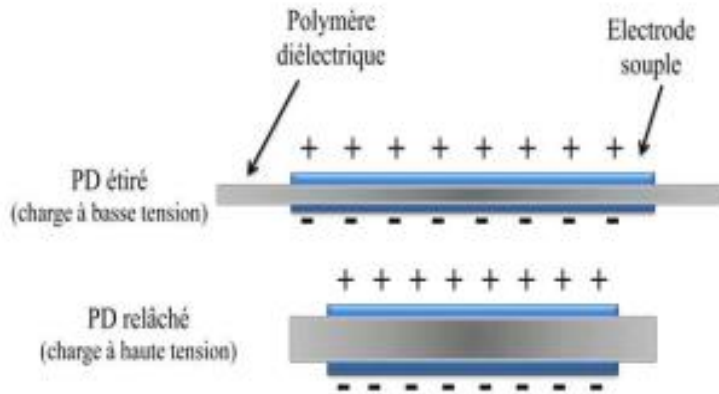


Figure I.5: le mécanisme de base du mode générateur d'un polymère diélectrique [26].

Cette énergie générée durant la phase de compression, diminuée des pertes et de l'énergie nécessaire à l'étirement du polymère (équation I-15).

s et amorties au sein du polymère, une

$$e_{generee} = e_{compression} - e_{pertes} - e_{étriment}$$

En négligeant les pertes, l'énergie générée s'écrit sous la forme donnée par l'équation I-16 :

$$e_{generee} = \frac{1}{2} v_{volume} \epsilon_0 \epsilon_r (E_{compression}^2 - E_{étriment}^2)$$

ϵ_0 permittivité du vide

ϵ_r permittivité relative du polymère

v_{volume} le volume du polymère

E le champ électrique

Des calculs effectués par Pelrine et al. [26] sous champ électrique de claquage (pour $E_{compression}$), en négligeant les pertes et l'énergie nécessaires à l'étirement montrent que les polymères diélectriques possèdent une densité d'énergie récupérable élevée et fonctionne à faible fréquence. Cette densité est dix fois supérieure à celles obtenues avec les polymères électrostrictifs. Mais, comme pour les polymères électrostrictifs, ce générateur requiert une source annexe pour charger le polymère.

6.4. Les polymères ioniques type IPMC (Ionic Polymer-Metal Composite)

Pour le mode générateur des polymères ioniques type IPMC, l'effet inverse est appelé « flexoelectric effect » : une flexion, compression où une charge sur un polymère IPMC produit une tension électrique de sortie [27] [28] [29]:

- **en régime quasi-statique :**

Il existe une relation linéaire entre la tension de sortie et le déplacement imposé au polymère.

- **en régime dynamique :**

Outre les impacts qui génèrent des oscillations libre sollicitation mécanique sinusoïdale engendre une tension de sortie sinusoïdale de même fréquence. Les polymères ioniques type IPMC sont actifs comme les piézoélectriques. Ainsi, on peut déterminer des équations constitutives du matériau liant les grandeurs électriques de sortie en fonction des grandeurs mécaniques d'entrée. De point de vue énergétique, il existe une variété de modèles que l'on peut classifier en modèles moléculaires et modèles globaux [30]. Au niveau moléculaire, un modèle macroscopique simple permet de remonter à la densité d'énergie disponible pour la récupération d'énergie. D'abord, on définit l'énergie électrique au sein du matériau qui est donnée par l'équation(I-17).

$$W = \frac{1}{2} CV^2$$

7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes classes de polymères, leurs principales propriétés et leur domaine d'application, et dans les prochain chapitres nous allons faire partie expérimentale (conception et réalisation d'un banc de mesure des propriétés diélectrique sous contrainte mécanique soit longitudinale ou transversale pour les échantillons élaborés .

Chapitre II
Elaboration du matériau et
caractérisation mécanique

1- Introduction :

Ce chapitre présente la méthode d'élaboration d'un polymère électro-active à partir de silicone et graphite, et on étudie les propriétés mécaniques des échantillons élaborés : module de Young et coefficient de Poisson en fonction de la force appliquée.

2- Les objectifs:

- Elaboration des échantillons à base de silicone chargé par des particules de carbone (graphite)
- Conception et réalisation d'un banc de mesure des propriétés électriques sous contrainte mécanique soit longitudinale ou transversale pour les échantillons élaborés.
- Le choix de l'échantillon de conception de capteur de force.

3-Procédure d'élaboration :**-Sans charge :**

On pèse le silicone et on le met entre deux papiers glacés sur un plan horizontal et on le laisse sécher au moins 3 jours puis on enlève le silicone de entre les deux papiers glacés et on le coupe en forme de rectangle, cette expérience doit être effectuée dans la température ambiante.

-Avec charge :

Premièrement on pèse le silicone et la poudre de carbone puis on les mélange bien et on met le mélange entre deux papiers glacés et on le laisse sécher au moins 3 jours puis on enlève le mélange de entre les deux papiers glacés et on le coupe en forme de rectangle, cette expérience doit être effectuée dans la température ambiante.

Les tableaux suivant présentent les caractéristiques des échantillons utilisés dans cette étude.

N°	Echantillon	le mélange		Taux de charge massique
1	Silicone pure	9 g de silicone		100%
2	Silicone +1% masse de carbone	10 g de silicone	0,1 g de C	0,99%
3	Silicone +10% masse de carbone	9 g de silicone	0,9 g de C	9,09%
4	Silicone +50% masse de carbone	7 g de silicone	7 g de C	50%

Tableau II.1 : Les caractéristiques des échantillons élaborés.

N°	Echantillon	Longueur initial (cm)	Largeur initial a_0 (cm)	Epaisseur initial e_0 (cm)	Surface initial (m ²)
1	Silicone pure	8,5	1,975	0,167	3,30E-05
2	Silicone +1% masse de carbone	8,5	4,1	0,138	5,66E-05
3	Silicone +10% masse de carbone	8,5	2,1	0,183	3,84E-05
4	Silicone +50% masse de carbone	8,5	3,9	0,185	7,22E-05

Tableau II.2 : Les dimensions des échantillons élaborés.

- Les matières utilisées :



1-Le Silicone (100% RTV SILICON SEALANT SANTARY)



2- Le carbone (graphite)



3-Le mélange 1+2

Figure II.1: Les matières utilisées pour préparer des échantillons élaborés.

-Les échantillons :

- 1-Silicone pure .
- 2-Silicone+ 1% masse de carbone.
- 3-Silicone+ 10% masse de carbone.
- 4-Silicone+ 50% masse de carbone.

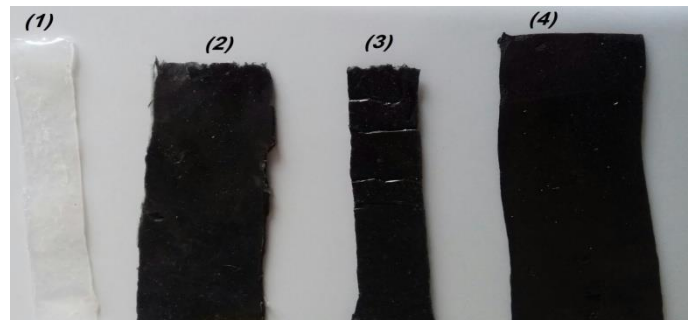
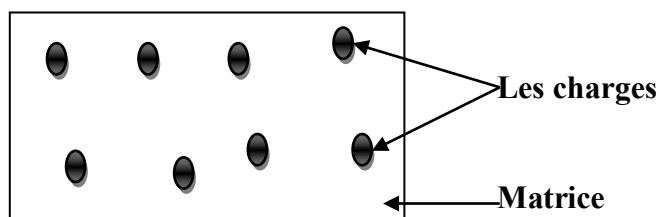


Figure II.2: Les échantillons élaborés.

Morphologie d'échantillon:



Matrice : Silicone.

Les charges : Carbone.

Figure II.3: Le composition d'échantillon.

Nous avons caractérisé les quatre échantillons avec traitement thermique (T = 130 C° pendant 15 min) et sans traitement thermique en total Nous avons caractérisé 08 échantillons.

Le traitement thermique : pour dégage le gaz de silicone.

4-Résultat d'élaboration :**4-1- Le microscope :**

Les images suivantes ont été obtenues à partir d'un microscope.

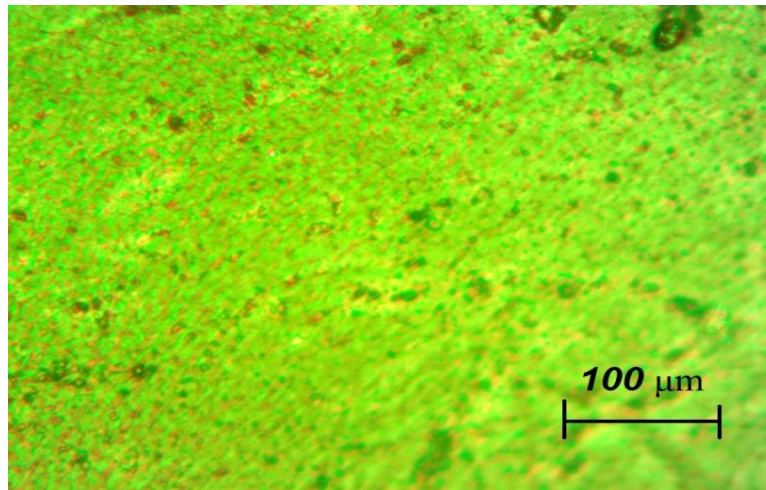


Figure II.4: L'image microscopique de silicone pure.

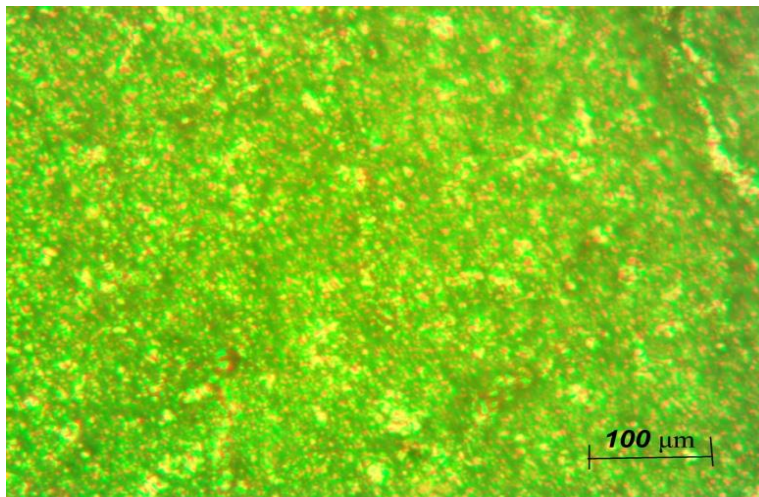


Figure II.5: L'image microscopique de silicone + 1% masse de carbone.

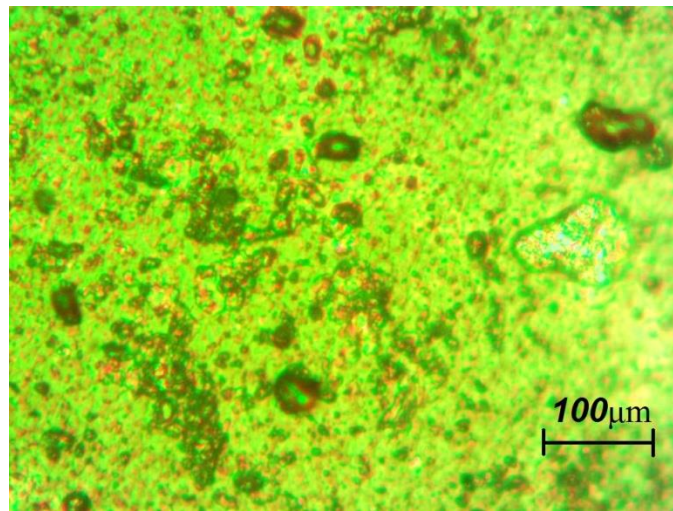


Figure II.6: L'image microscopique de silicone+ 10% masse de carbone.

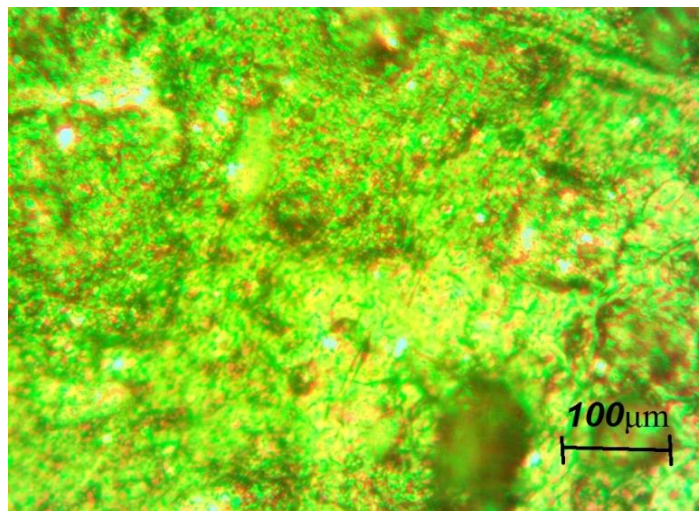


Figure II.7: L'image microscopique de silicone+ 50% masse de carbone.

La 1ère figure montre que l'échantillon silicone pure homogène avec des boules d'aire d'échelle micrométrique.

La 2ème figure de silicone+ 1% masse de carbone montre que l'échantillon hétérogène car l'accumulation des granules.

La 3^{ème} figure de silicone+ 10% masse de carbone montre que l'échantillon hétérogène car la présence d'accumulation des granules de graphite avec les tailles plus grande.

La 4^{ème} figure de silicone+ 50% masse de carbone montre que l'échantillon hétérogène car la présence d'accumulation des granules est plus beaucoup.

On remarque que la phénomène d'accumulation des particules de carbone est présente et augmente avec l'augmentation des taux de charges.

La probabilité de rupture d'échantillon augmente avec l'augmentation des taux des boules d'air.

4-2 - Banc expérimental et principe de mesure module de Young E et le coefficient de Poisson ν :

Proposer on peut mesurer à la fois les propriétés mécanique et les propriétés électriques.

-Les matériels utilisés :

-L'oscilloscope.

-Le générateur d'une tension sinusoïdale d'un amplitude 20.4 v et $f= 500$ Hz.

-Un dynamomètre F(N).

-Résistance R ($R = 1 \text{ M } \Omega$ pour les échantillons N° 1et 2 et 3 et $R= 200 \Omega$ pour l'échantillon N°4) pour l'égalité de résistance d'échantillon $R_s = R$ utilisé.

R_s : Résistance d'échantillon.

Et le circuit électrique utilisé est composé comme ci-dessous :

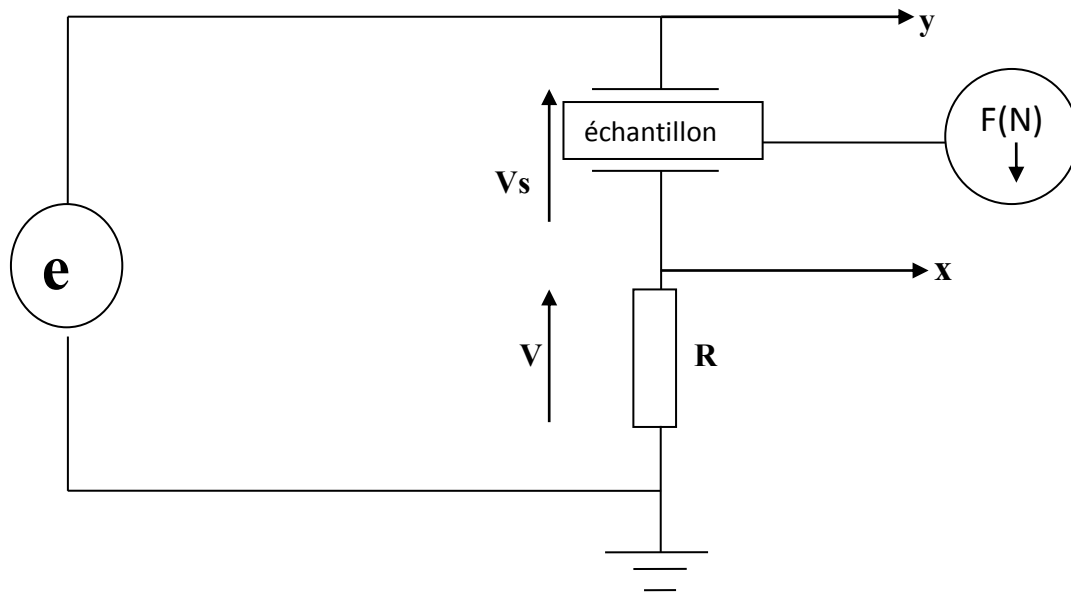


Figure II.8 : Le circuit électrique utilisé.

Les échantillons :

Silicone pure.

Silicone+ 1% masse de Carbone.

Silicone+10% masse de Carbone.

Silicone+50% masse de Carbone.

L'échantillon était fixé d'un côté et on applique une force F de traction sur l'autre côté par un dynamomètre. On mesure la tension v à partir d'oscilloscope et on mesure aussi l'épaisseur et la largeur et la longueur des échantillons avec un micromètre et pied à coulisse.

On utilise la même méthode dans les deux cas l'expansion et la pression.

4-2-1- Le cas de l'expansion

4-2-1-1- Le module de Young E :

a-Sans traitement thermique :

Le tableau II.3 présente les valeurs de module de Young E de tout l'échantillon :

F (N)	0	2	4	6	8	10
E Silicone pure	0	5,46E+05	6,21E+05	1,07E+06	1,99E+06	2,66E+06
E Silicone+ 1%C	0	7,57E+05	1,11E+06	1,41E+06	1,75E+06	1,87E+06
E Silicone+10%C	0	4,35E+05	4,61E+05	6,40E+05	8,32E+05	9,69E+05
E Silicone+50%C	0	2,34E+05	3,88E+05	5,27E+05	6,24E+05	7,74E+05

Tableau II.3 : Les valeurs de module de Young E de tout l'échantillon.

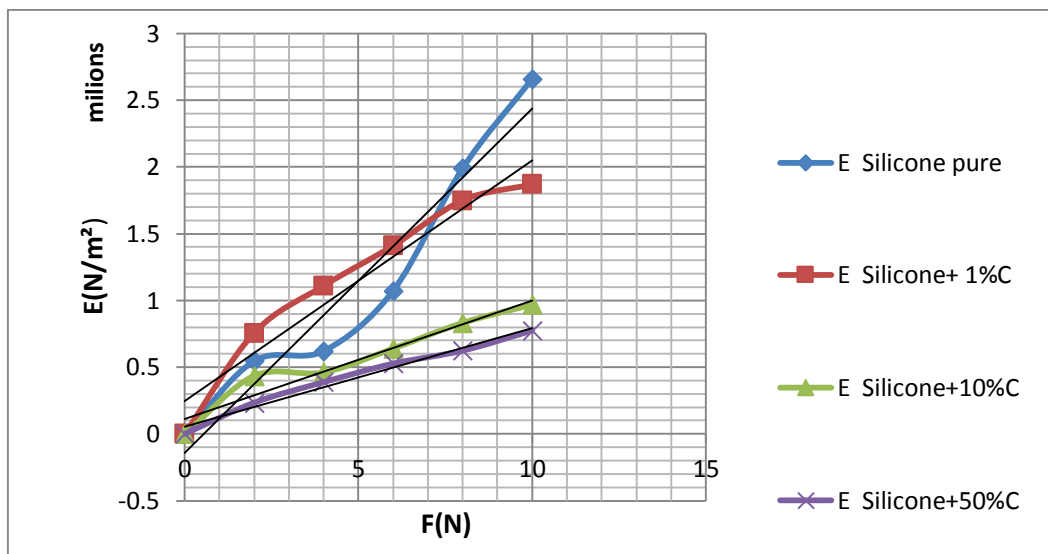


Figure II.9: Le module de Young E en fonction de force F(N).

On observe que les courbes E(F) sont linéaires pour $F > 4N$. plus la force appliqué augmente plus le module de Young augmente alors F et E sont directement proportionnel.et les valeurs de courbe de silicone +50% masse de carbone sont faibles car le silicone +50% masse de carbone sont plus de rigidité.

Le résultat : plus l'échantillon est moins de rigidité → le module de Young E augmente.

b- Avec traitement thermique :

T = 130 C° t = 15 min

Le tableau II.4 présente les valeurs de E de tout l'échantillon :

F (N)	0	2	4	6	8	10
E Silicone pure	0	2,55E+05	5,07E+05	8,35E+05	1,01E+06	1,28E+06
E Silicone+ 1%C	0	1,14E+06	1,27E+06	9,07E+05	1,11E+06	6,48E+05
E Silicone+10%C	0	1,09E+06	1,88E+06	2,71E+06	2,90E+06	2,16E+06
E Silicone+50%C	0	8,83E+05	1,13E+06	1,40E+06	7,79E+05	6,94E+05

Tableau II.4 : Les valeurs de module de Young E de tout l'échantillon.

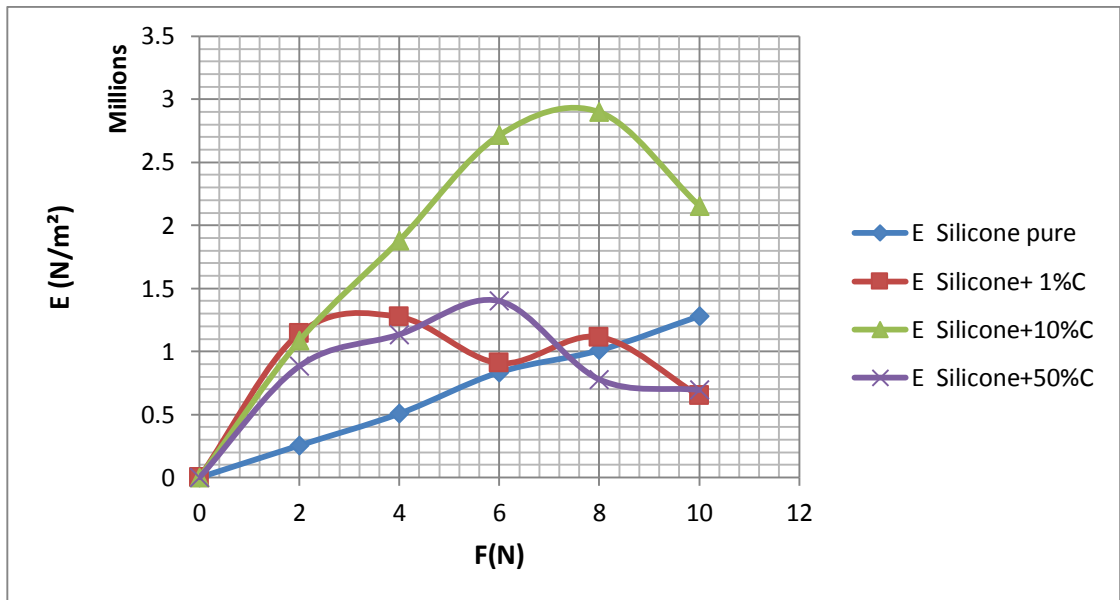


Figure II.10: Le module de Young E en fonction de force F.

Remarque : La courbe de silicone pure est linéaire et le reste des courbes sont non linéaires.

Plus la force augmente → plus le module de Young E augmente

-Comparaison de module de Young sans et avec traitement thermique :

sans traitement thermique :

Les courbes de E sont croissantes
régulièrement en fonction de force F.
Tous les courbes sont linéaires .

avec traitement thermique :

Les courbes de E(F) sont croissantes
mais pas régulièrement.
la courbe silicone pure est linéaire et le
reste des courbes sont non linéaires

On conclut que E sans traitement thermique est mieux que E avec traitement thermique.

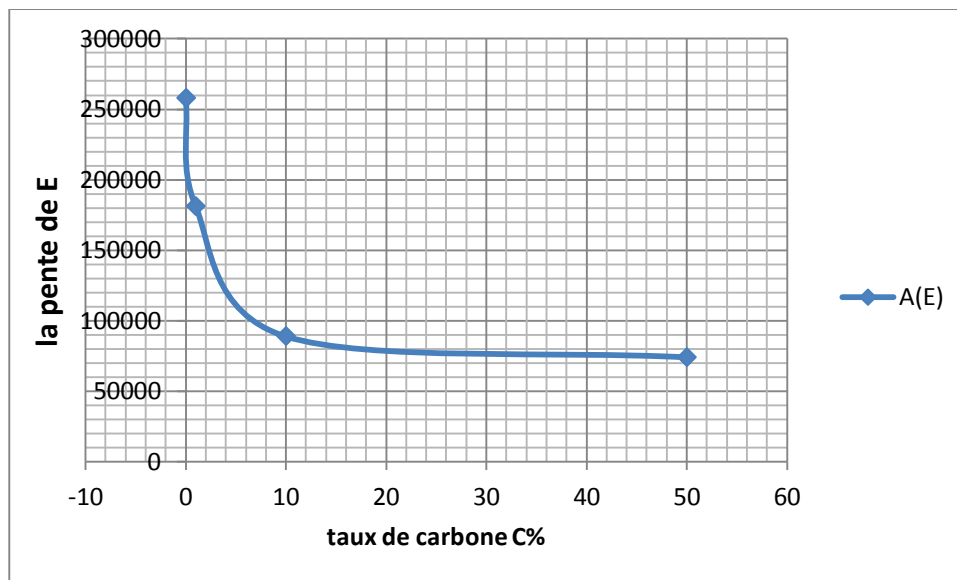


Figure II.11: Le pente de E(sans traitement thermique) en fonction de C%.

Le pente de graphe de module de Young montre que la contrainte T est diminue avec l'augmentation de taux de carbone .

4-2-1-2 -Le coefficient de Poisson ν

a- Sans traitement thermique :

Le tableau II.5 présente les valeurs de coefficient de Poisson ν de tout l'échantillon :

F (N)	0	2	4	6	8	10
ν Silicone pure		0,426	0,61	0,83	1,04	1,021
ν Silicone+ 1%C		1,61	1,78	1,63	1,998	1,94
ν Silicone+10%C		0,35	0,6	0,87	0,9	0,85
ν Silicone+50%C		0,191	0,306	0,439	0,521	0,68

Tableau II.5 : Les valeurs de coefficient de Poisson ν de tout l'échantillon.

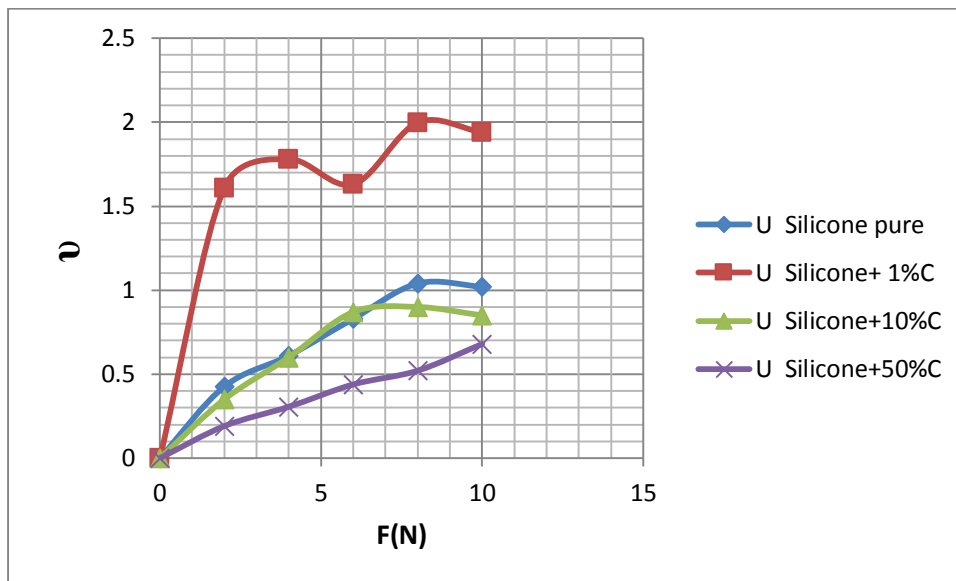


Figure II.12: Le coefficient de Poisson ν en fonction de force.

On observe de ce graphe :

Plus la force appliquée augmente \longrightarrow plus le coefficient de poisson ν augmente.

Les grandes valeurs de coefficient de poisson ν \longrightarrow l'échantillon : matériau anisotrope.

b- Avec traitement thermique :

Le tableau II.6 présente les valeurs de coefficient de Poisson ν de tout l'échantillon :

F (N)	0	2	4	6	8	10
ν Silicone pure		0,08	0,35	0,64	0,61	0,79
ν Silicone+ 1%C		1,35	1,94	1,17	1,34	0,54
ν Silicone+10%C		1,52	2,42	3,11	2,63	1,38
ν Silicone+50%C		0,38	0,48	0,58	0,29	0,24

Tableau II.6 : Les valeurs de coefficient de Poisson ν de tout l'échantillon.

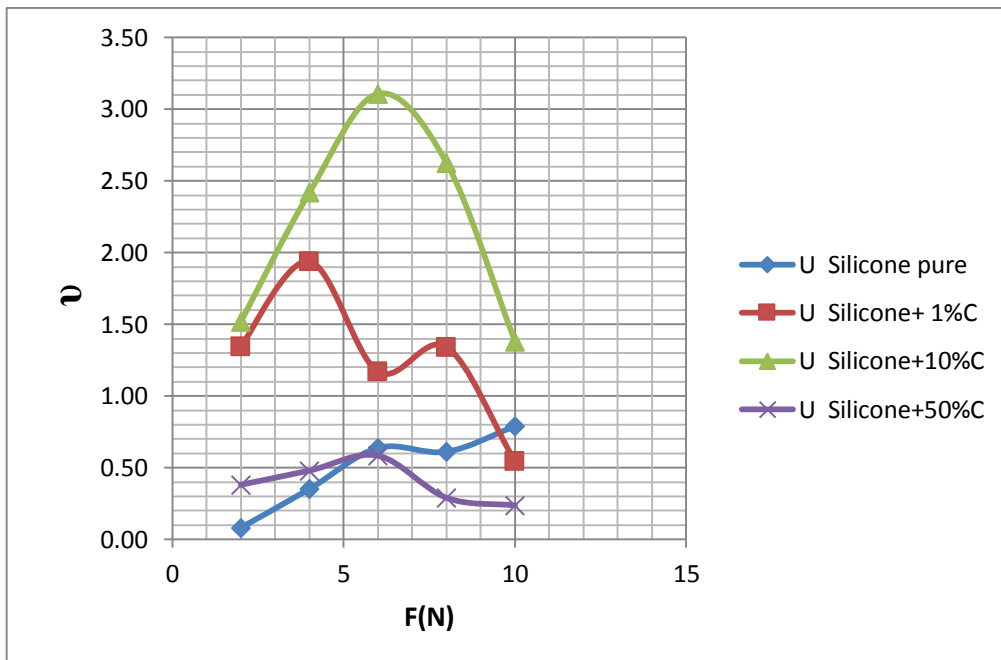


Figure II.13: Le coefficient de Poisson ν en fonction de force.

On observe de ce graphe :

Plus la force augmente \longrightarrow plus le coefficient de Poisson ν augmente jusqu'à $F = 6N$ puis le coefficient de Poisson ν diminue.

4- Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons déterminé les propriétés mécaniques des échantillons élaborés (les quatre polymères), et nous avons parlé sur les variations de module de Young et de coefficient de poisson en fonction de force appliquée et avec basé sur le cas de contrainte mécanique longitudinale car l'autre cas (contrainte mécanique transversale) est identique avec le premier cas .Et on a opté sur les essais expérimentaux et le principe de mesure.

Chapitre III
La caractérisation
électrique

1-Introduction :

Dans ce chapitre on étudie les propriétés électriques pour les échantillons élaborés . On étudiera la tension V en fonction de force $F(N)$ dans chaque polymères et puis calculer la tension d'échantillon V_s et la résistance d'échantillon R_s et la résistivité ρ en fonction de force $F(N)$, dans deux cas (l'expansion :

(sans et avec le traitement thermique)) et (pression : (sans et avec le traitement thermique)).

Finalement on fait un comparaison de V_s et R_s et ρ dans les deux cas.

2-Procédure expérimental :

On utilise la même méthode expérimentale de chapitre *III* pour mesurer la tension d'échantillon V_s et la résistance d'échantillon R_s et la résistivité ρ en fonction de force $F(N)$.

On utilise les équations suivantes :

$$V_s(\text{volt}) = e - V$$

$$i(\text{A}) = V/R$$

$$R_s(\Omega) = \frac{V_s}{i}$$

$$\rho(\Omega.m) = R_s \cdot \frac{S}{e_p}$$

$i(\text{A})$: le courant électrique.

e_p : L'épaisseur d'échantillon.

e : la tension de générateur.

La surface s :

$$L = 4 \text{ cm}, l = 1.5 \text{ cm}$$

$$s = 4 \cdot 1,5 = 6 \text{ cm}^2, s(\text{m}^2) = 6,00\text{E-}04 \text{ m}^2.$$

Et le même circuit électrique est composé comme ci-dessous :

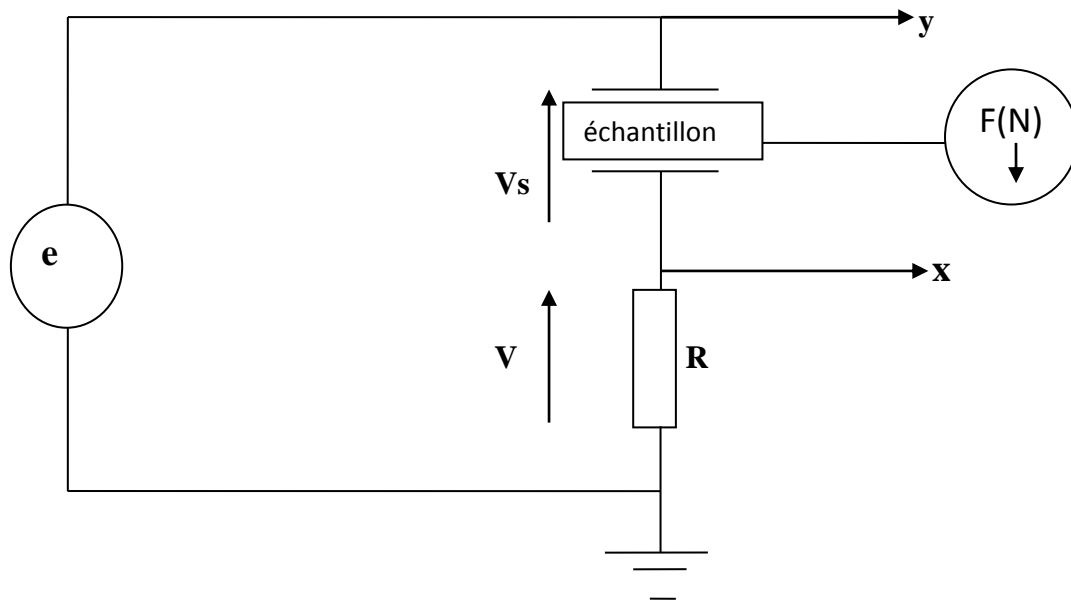


Figure III.1 : Le circuit électrique utilisé.

3-banc de mesure la tension d'échantillon V_s et la résistance d'échantillon R_s et la résistivité ρ :

3-1- Le cas d'expansion :

a-Sans traitement thermique :

Les tableaux suivant présentent les valeurs mesures des échantillons utilisés dans cette étude.

- tous l'échantillon :

$$e = 20,4 \text{ volt}$$

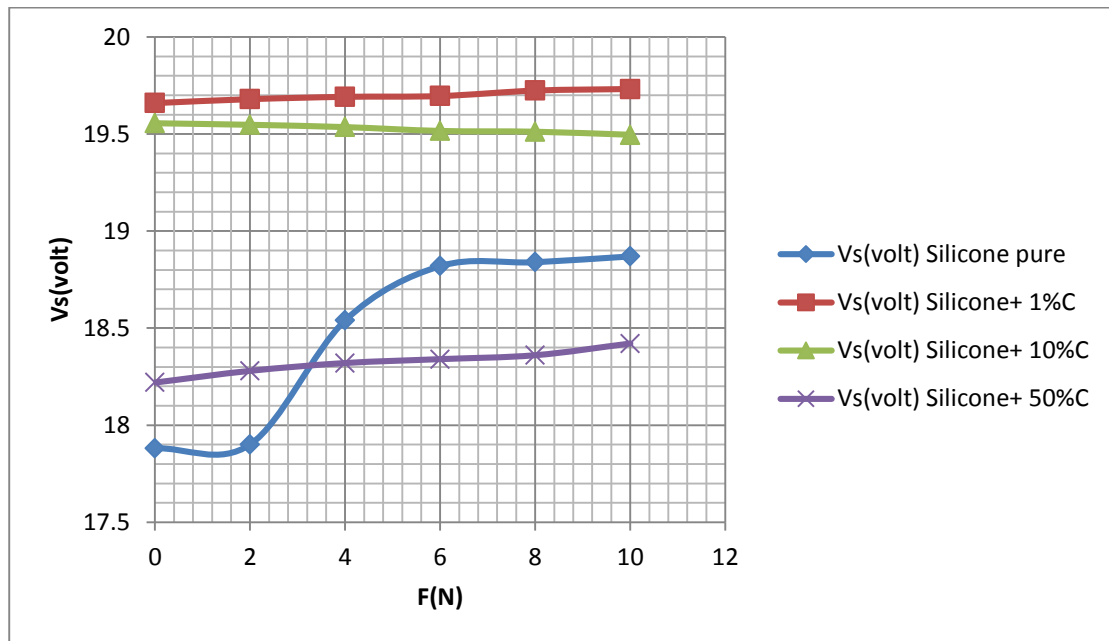


Figure III.2 : La tension d'échantillon V_s en fonction de force $F(N)$.

Remarque : faible croissance de tension des échantillons V_s (silicone +1% masse de carbone et silicone +50% masse de carbone) tandis que la courbe de silicone +10% masse de carbone est diminuée et la croissance de tension d'échantillon (silicone pure) V_s à partir de $F = 2$ N en effet de la force croissante.

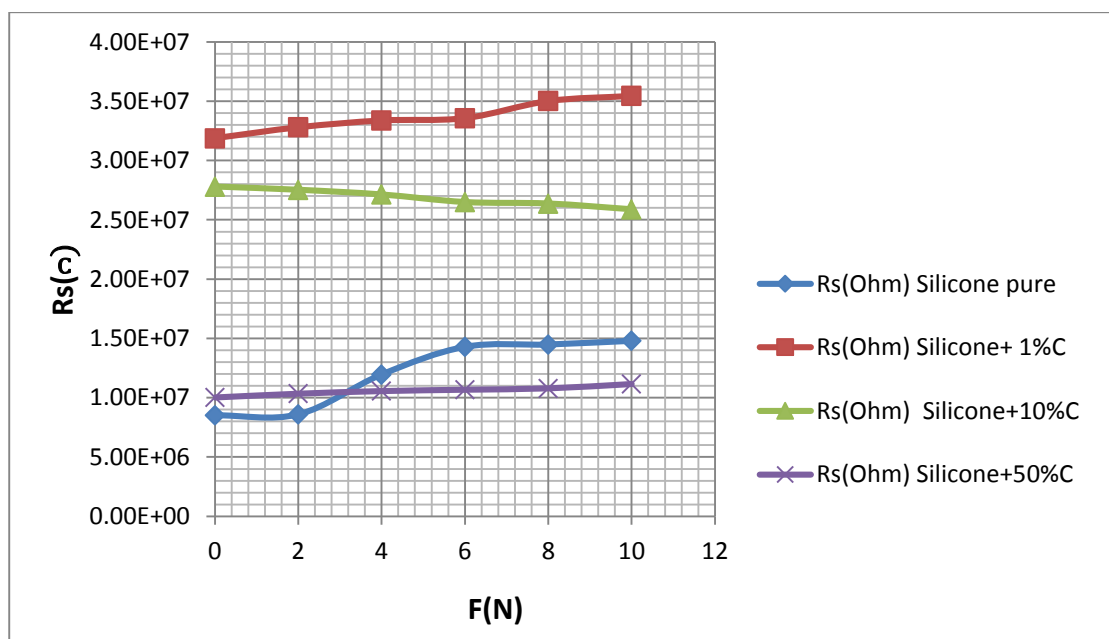


Figure III.3 : La résistance d'échantillon R_s en fonction de force $F(N)$.

On observe que faible croissance de résistance d'échantillon R_s en effet de la force croissante.

Plus le taux des charges carbone augmente \longrightarrow la résistance d'échantillon R_s diminue.

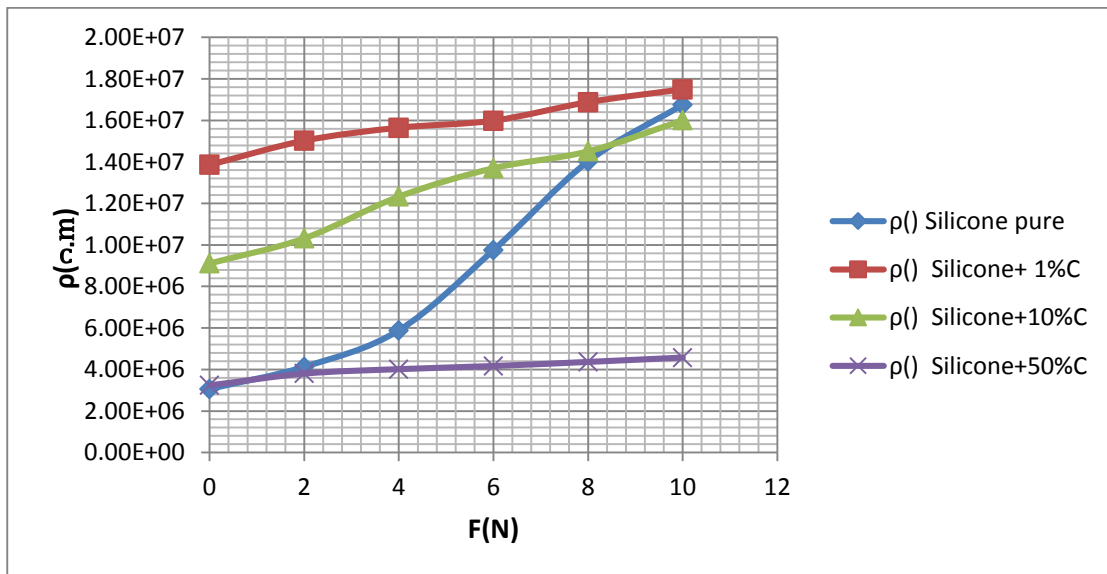


Figure III.4 : La résistivité ρ ($\Omega.m$) en fonction de force F(N).

Remarque : grande croissance de ρ ($\Omega.m$) de (silicone pure et Silicone +1 % masse de carbone et Silicone +10 % masse de carbone) en effet de la force croissante et faible croissance de ρ ($\Omega.m$) de (Silicone +50 % masse de carbone) en effet de la force croissante. Nous concluons plus C% augmente \longrightarrow la résistivité ρ diminue.

b-Avec traitement thermique :

T =130 C° t = 15 min

-Silicone pure : R=1.2 M Ω e=20,6 volt

-Silicone +1% masse de carbone et silicone +10% masse de carbone :

R=1.2 M Ω e=20,4 volt

-Silicone +50% masse de carbone :

R=200 Ω e=16.4 volt

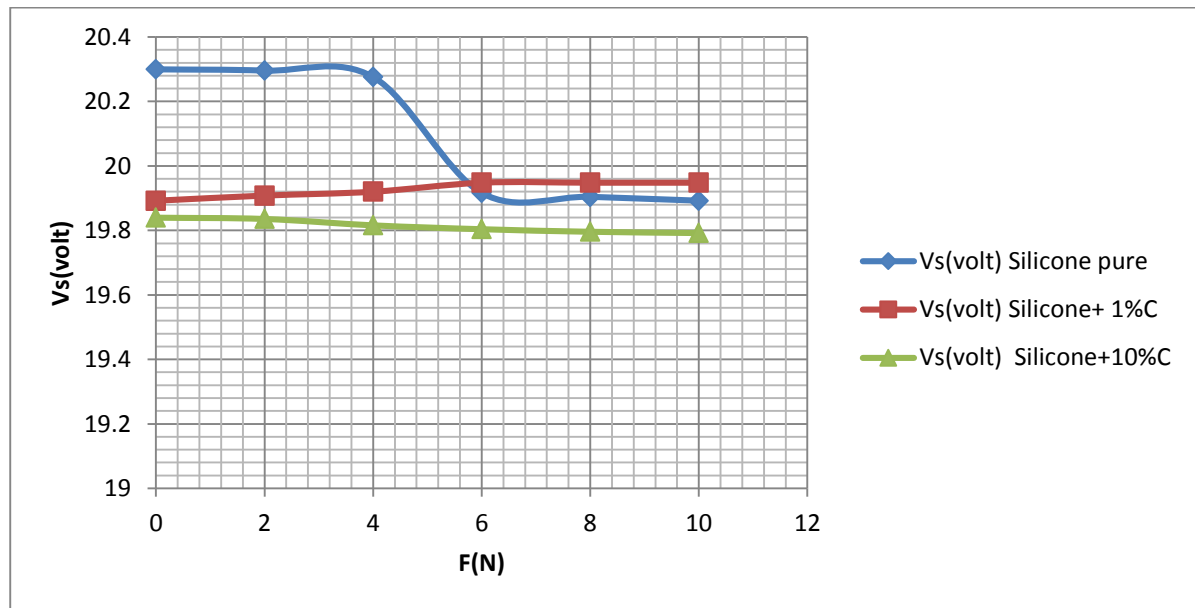


Figure III.5 : La tension d'échantillon V_s (volt) en fonction de force F(N).

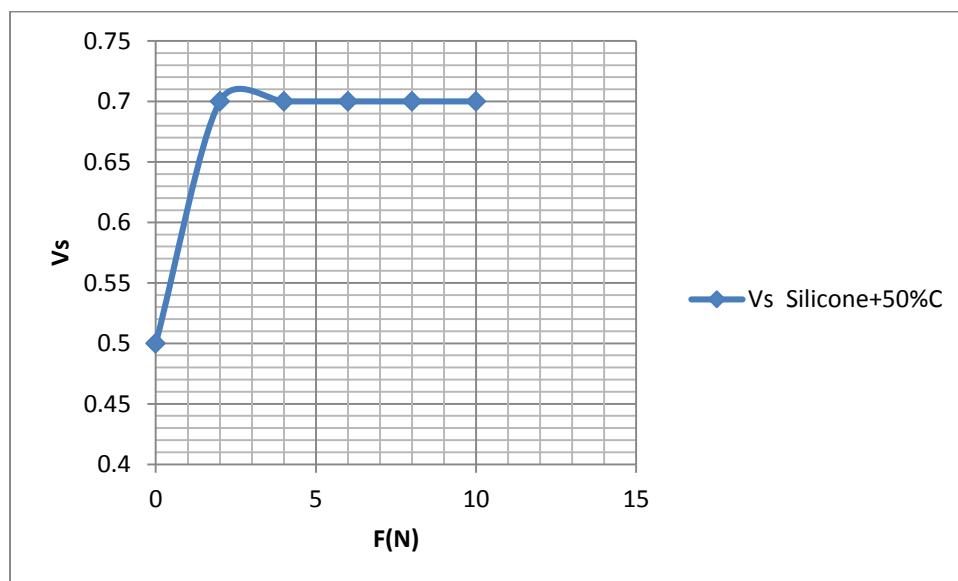


Figure III.6 : La tension d'échantillon V_s (volt) (silicone +50% masse de carbone) en fonction de force F(N).

Remarque : faible croissance de tension des échantillons (silicone +1% masse de carbone et silicone +50% masse de carbone) et silicone +10% masse de carbone est diminué et (silicone pure) entre $F = 4-6$ N . et les courbes sont constantes à partir de $F= 6$ N.

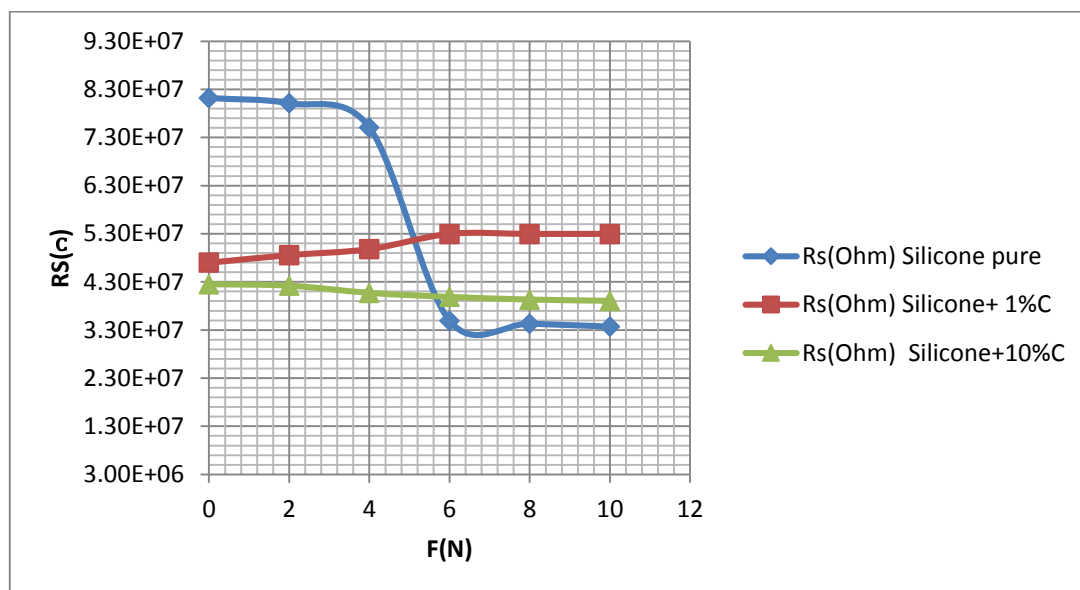


Figure III.7 : La résistance d'échantillon R_s (Ω) en fonction de force F(N).

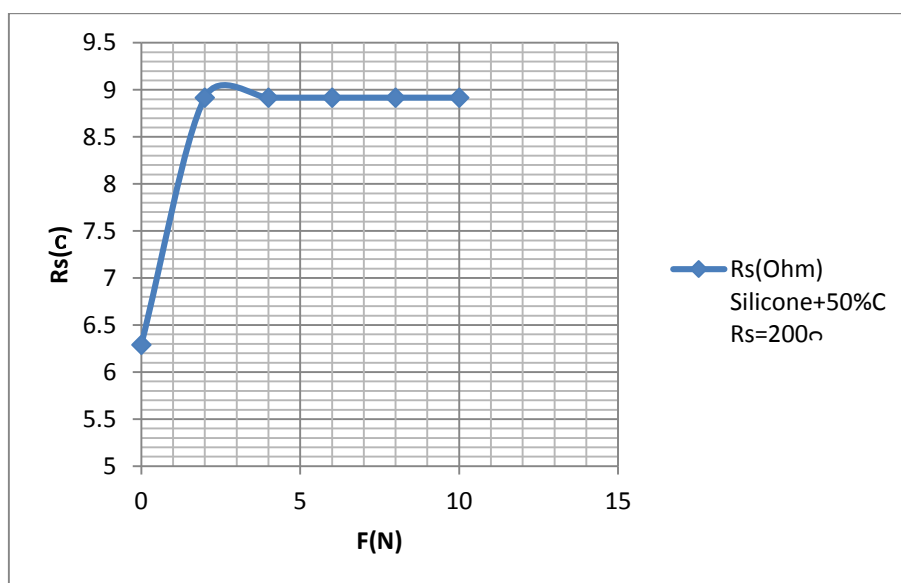


Figure III.8 : La résistance d'échantillon R_s (Ω) (silicone +50% masse de carbone) en fonction de force F(N).

Remarque : les courbes de la résistance d'échantillon R_s de silicone pure et silicone +10% masse de carbone (avec le traitement thermique) sont diminuées tandis que nous observons une faible augmentation de Silicone +1% masse de carbone et Silicone +50% masse de carbone.

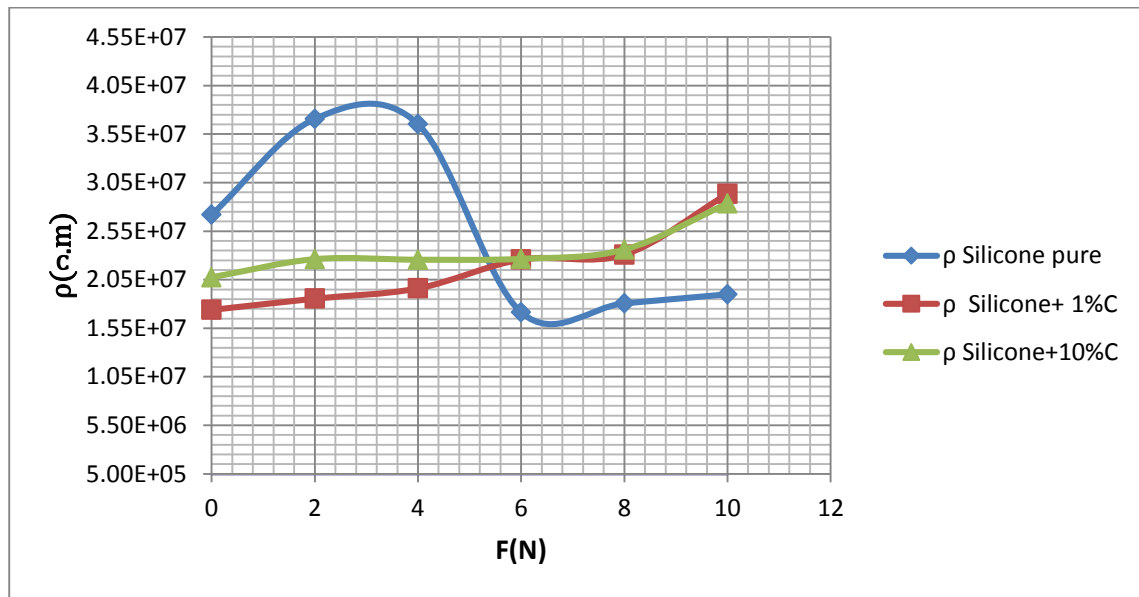


Figure III.9 : La résistivité ρ ($\Omega.m$) en fonction de force F(N).

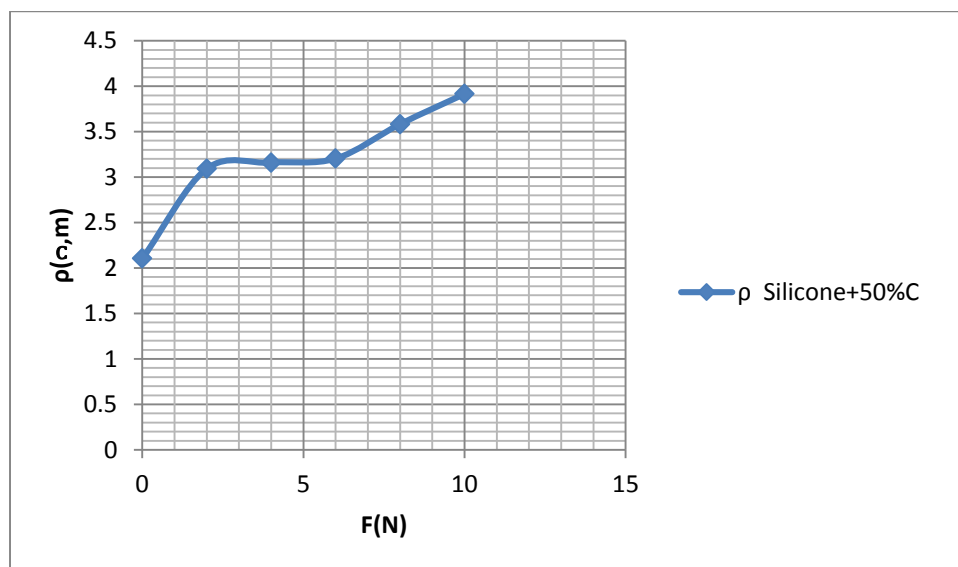


Figure III.10 : La résistivité ρ ($\Omega.m$) de (silicone +50% masse de carbone) en fonction de force F(N).

Remarque : le courbe de la résistivité ρ de silicone pure (avec le traitement thermique) augmente : de 0-2 (N) et de 6-10(N) et diminue :de 2-6(N) tandis que nous observons une faible augmentation de ρ de silicone +1% masse de carbone et silicone +10% masse de carbone et silicone +50% masse de carbone.

-Comparaison de la tension d'échantillon V_s et la résistance d'échantillon R_s et la résistivité ρ dans le cas d'expansion sans et avec traitement thermique :

Sans traitement thermique :

nous observons une augmentation de V_s et R_s et ρ en fonction $F(N)$.

Avec traitement thermique : la tension d'échantillon V_s est, R_s de silicone pure et silicone +10% masse de carbone diminue tandis que nous observons une faible augmentation de Silicone +1% masse de carbone et Silicone +50% masse de carbone.

Plus le pourcentage de carbone augmente $\longrightarrow \rho$ augmente.

On conclut que les valeurs V_s et R_s et ρ d'échantillons sans traitement thermique sont mieux que avec traitement thermique.

3-2- Le cas de pression :

a-Sans traitement thermique :

Les valeurs mesurées des échantillons utilisés dans cette étude.

On applique la pression sur la surface S_1 .

e_0 : L'épaisseur initiale d'échantillon.

T : la contrainte (N/m²).

E : module de Young.

On a: $S_1 (m^2) = 1,28E-03 m^2$, $e_0 (m) = 1,67E-03 m$

$$T = F/S_1$$

$$\Delta e = (T/E) \cdot e_0$$

$$e = e_0 - \Delta e$$

Puis trouver : $\rho = R_s \cdot (s/e)$

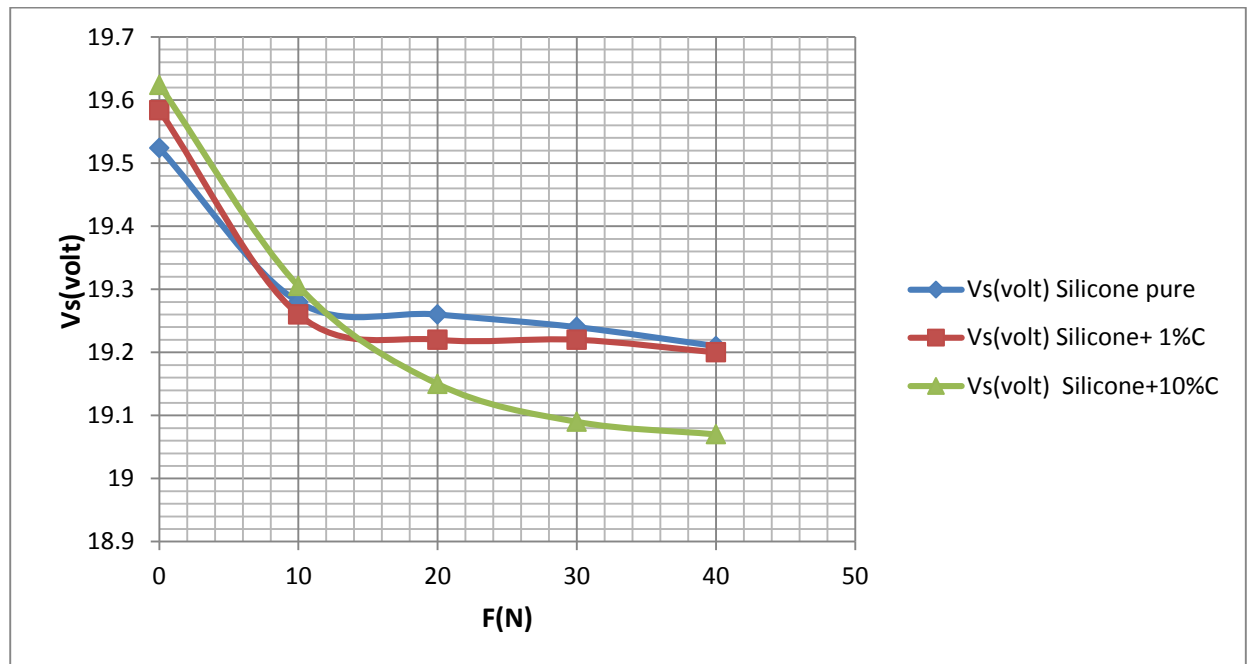


Figure III.11: La tension d'échantillon V_s (volt) en fonction de force $F(N)$.

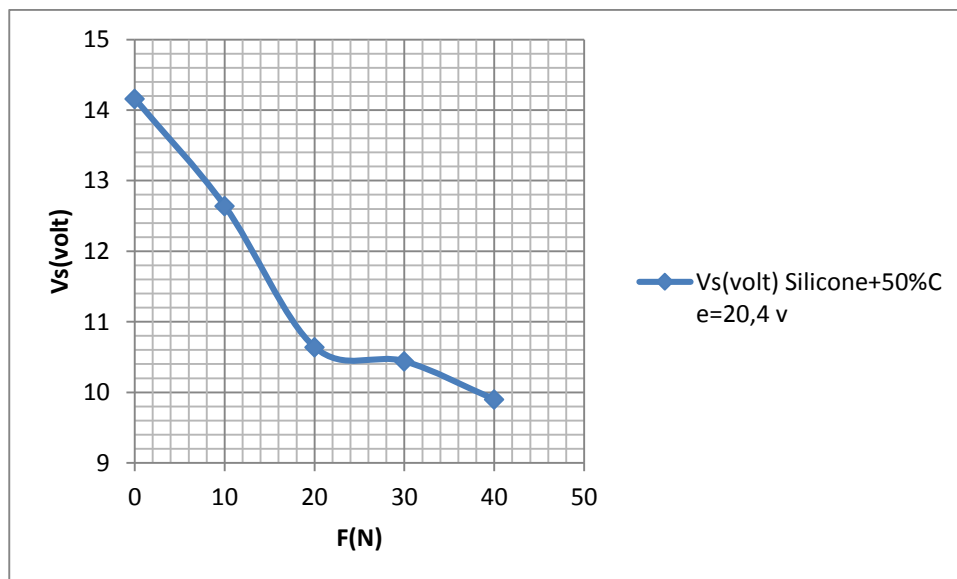


Figure III.12: La tension d'échantillon V_s (volt) de (silicone +50% masse de carbone) en fonction de force $F(N)$.

Remarque : faible diminution de tension des échantillons V_s (silicone pure et silicone +1% masse de carbone et silicone +10% masse de carbone) tandis que la courbe de silicone +50% masse de carbone est diminué.

Plus la force appliquée augmente \longrightarrow plus la tension d'échantillon V_s (volt) diminue.

Plus le taux de carbone augmente \longrightarrow plus la tension d'échantillon V_s (volt) diminue.

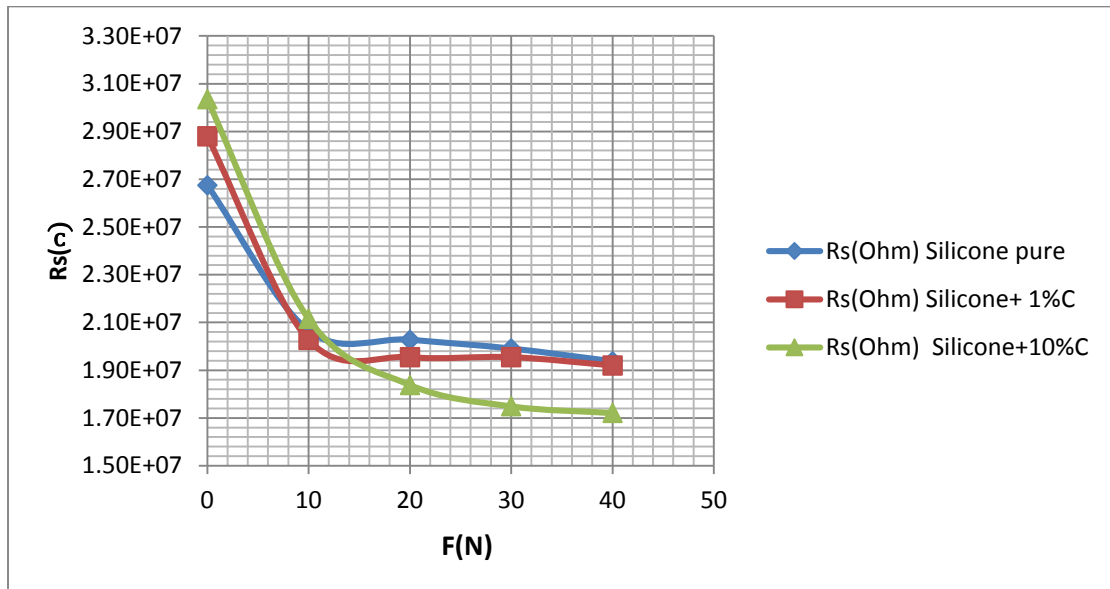


Figure III.13: La résistance d'échantillon $R_s(\Omega)$ en fonction de force $F(N)$.

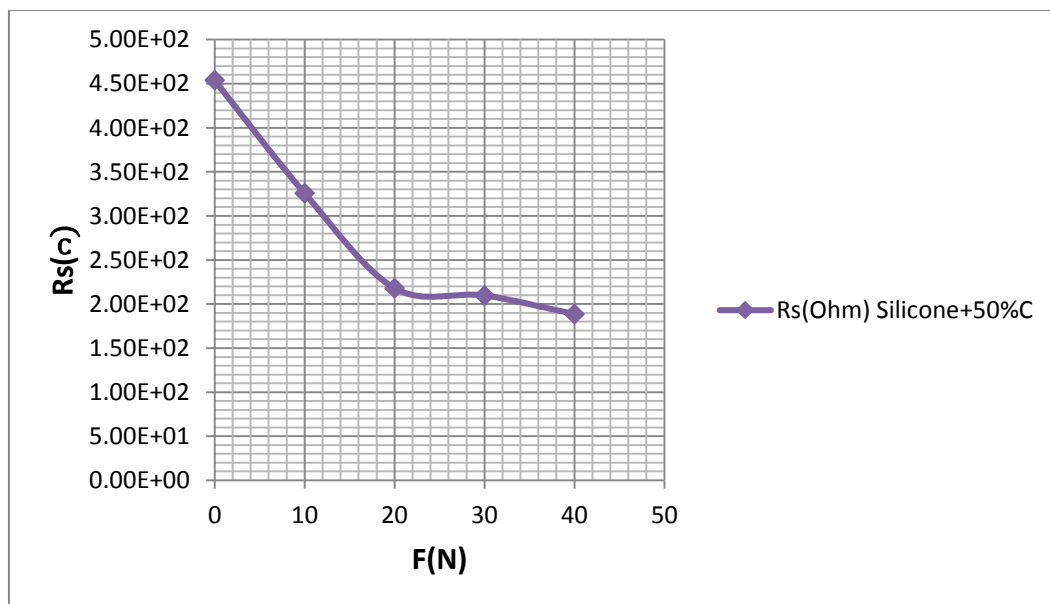


Figure III.14: La résistance d'échantillon $R_s(\Omega)$ (silicone +50% masse de carbone) en fonction de force $F(N)$.

Plus la force appliquée augmente \longrightarrow plus la résistance d'échantillon R_s (Ω) diminue.

Plus le taux de carbone augmente \longrightarrow plus la résistance d'échantillon R_s (Ω) diminue.

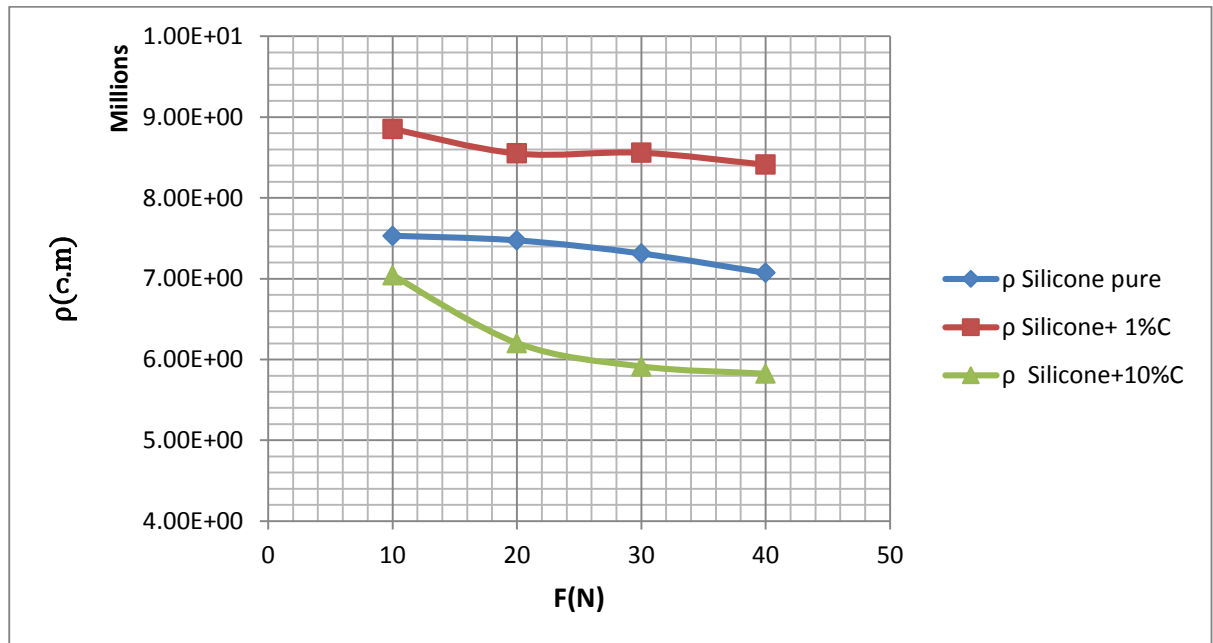


Figure III.15 : La résistivité ρ ($\Omega \cdot m$) en fonction de force $F(N)$.

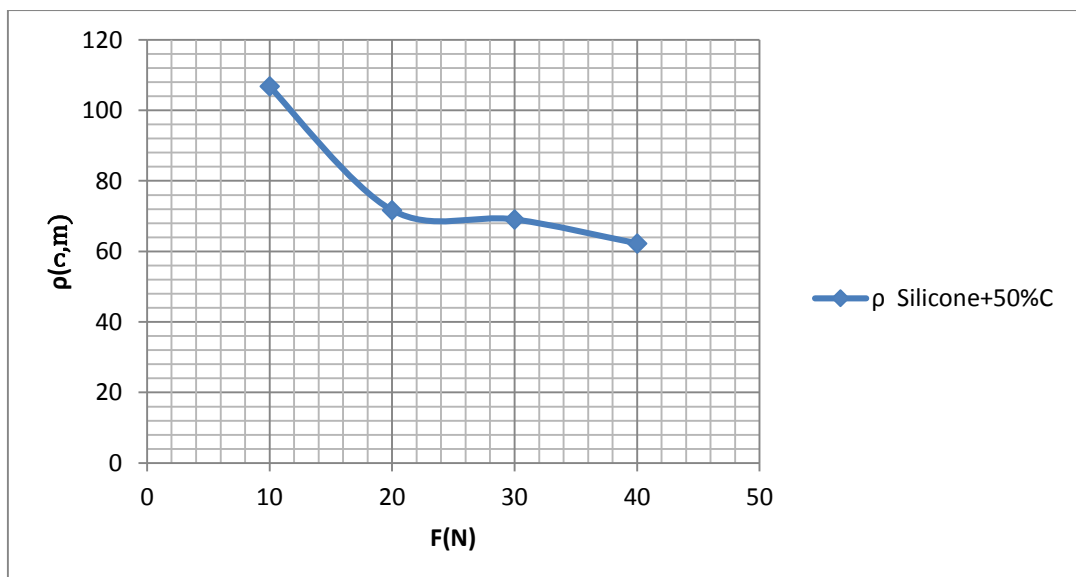


Figure III.16 : La résistivité ρ ($\Omega \cdot m$) de (silicone +50% masse de carbone) en fonction de force $F(N)$.

Plus la force appliquée augmente \longrightarrow plus la résistivité ρ ($\Omega.m$) diminue.

Plus le taux de carbone (C%) augmente \longrightarrow plus la résistivité ρ ($\Omega.m$) diminue.

b-Avec traitement thermique :

T =130 C° t = 15 min

-Silicone pure et silicone +10% masse de carbone :

R=1.2 M Ω E=20,4 volt

-Silicone +1% masse de carbone :

R= 1.2 M Ω E=20,6 volt

-Silicone +50% masse de carbone :

R=200 Ω E=17.2 volt

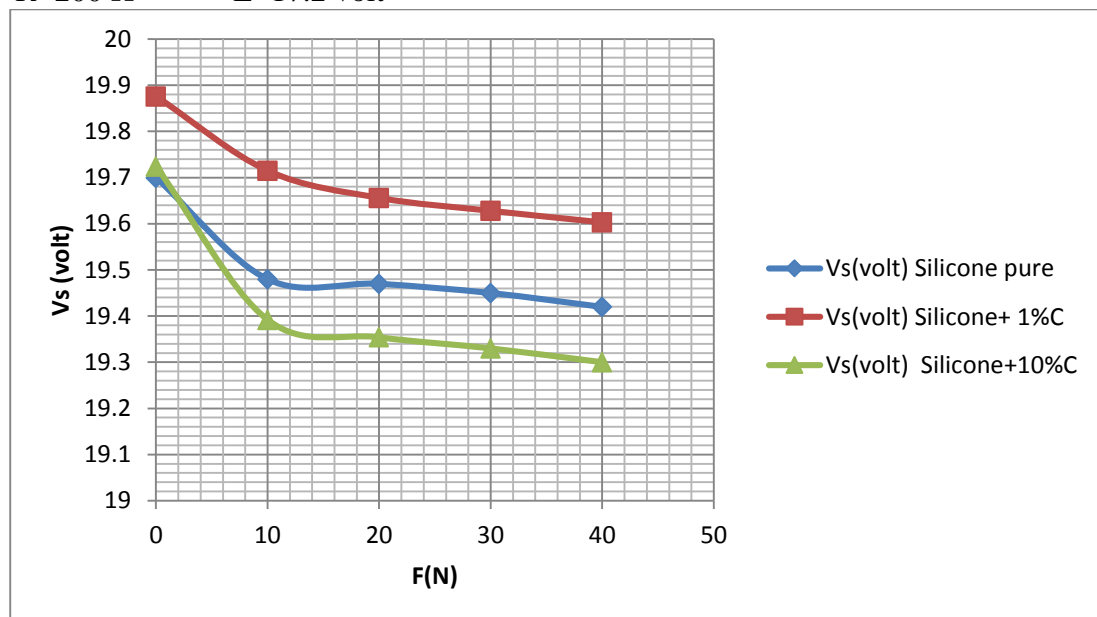


Figure III.17 : La tension d'échantillon V_s (volt) en fonction de force F(N).

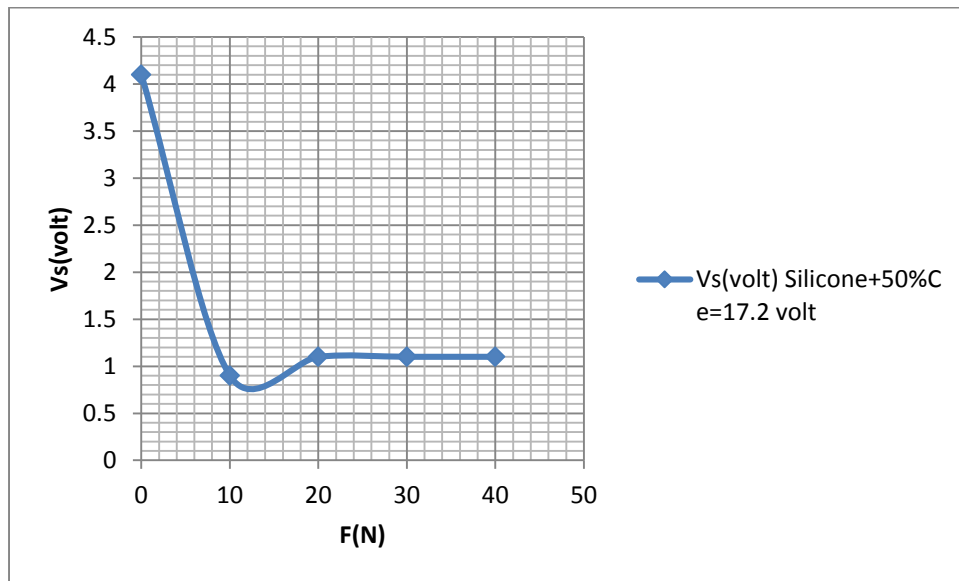


Figure III.18 : La tension d'échantillon V_s (volt) de silicone +50% masse de carbone en fonction de force $F(N)$.

Plus la force appliquée augmente \longrightarrow plus la tension d'échantillon V_s (volt) diminue.

Plus le taux de carbone augmente \longrightarrow plus la tension d'échantillon V_s (volt) diminue.

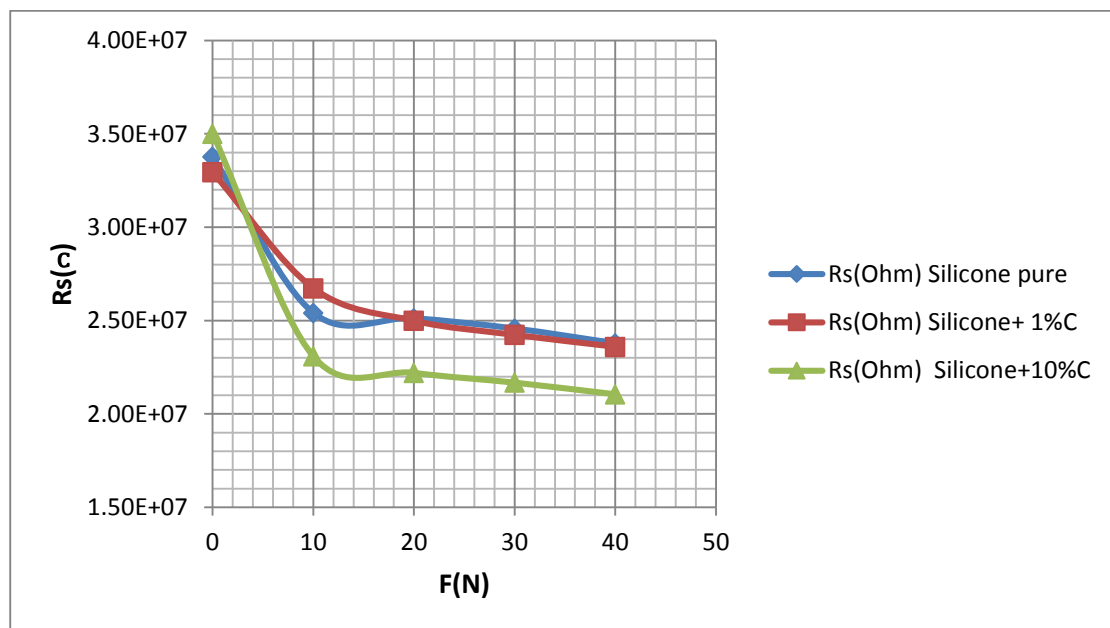


Figure III.19: La résistance d'échantillon R_s (Ω) en fonction de force $F(N)$.

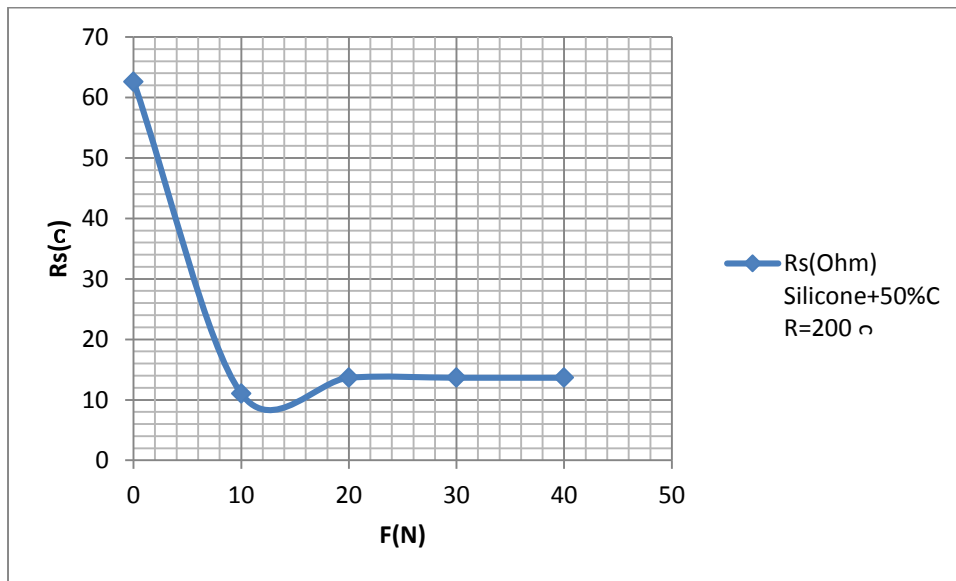


Figure III.20: La résistance d'échantillon R_s (Ω) de silicone +50% masse de carbone en fonction de force F (N).

Plus la force appliquée augmente \longrightarrow plus La résistance d'échantillon R_s (Ω) diminue.

Plus le taux de carbone augmente \longrightarrow plus La résistance d'échantillon R_s (Ω) diminue.

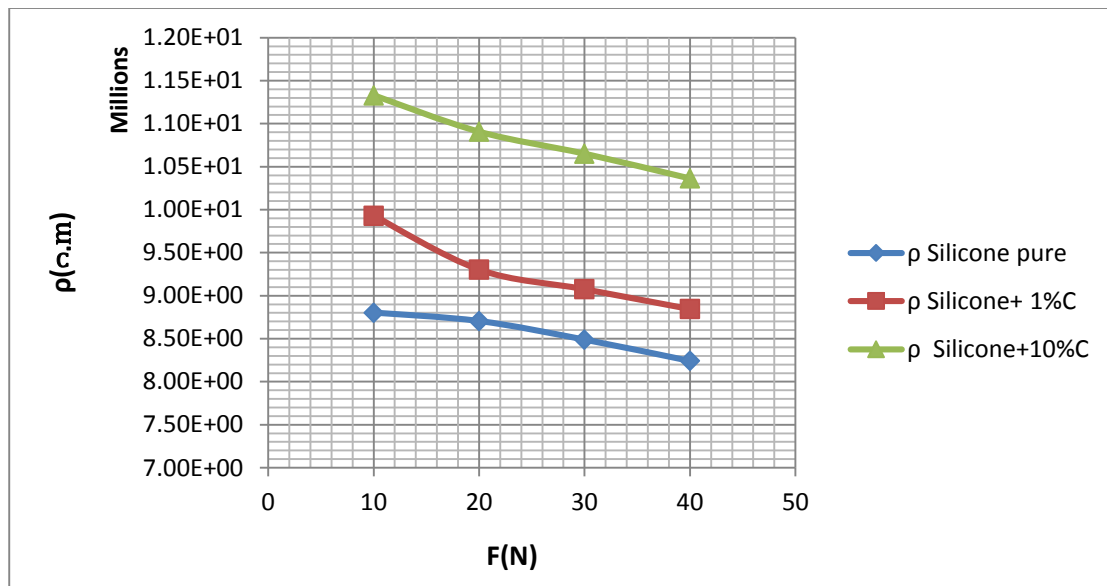


Figure III.21 : La résistivité ρ ($\Omega.m$) en fonction de force F (N).

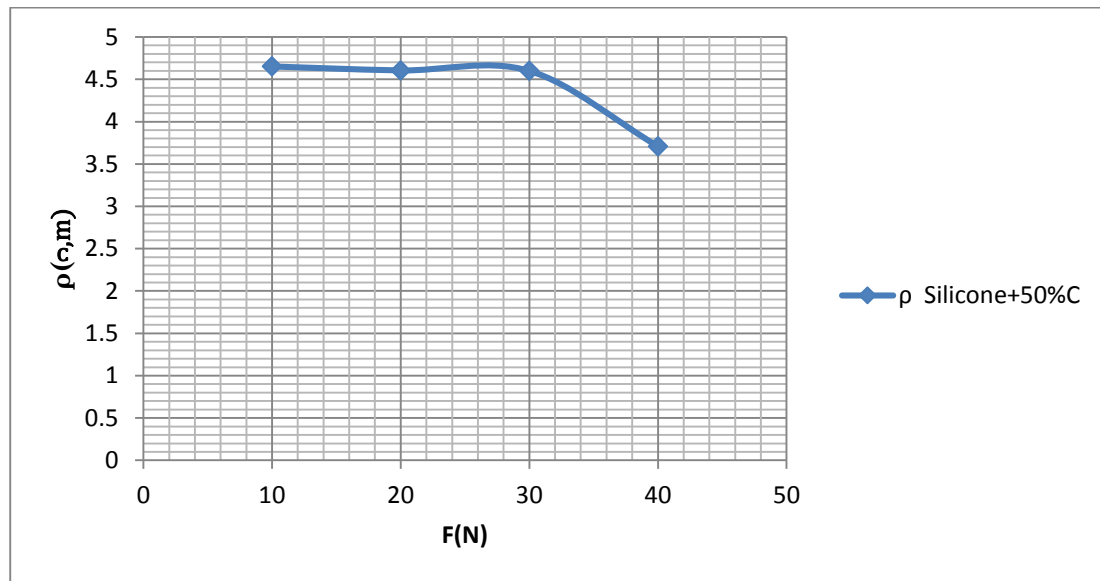


Figure III.22 : La résistivité ρ ($\Omega.m$) de silicone +50% masse de carbone en fonction de force F(N).

Plus la force appliquée augmente \longrightarrow plus la résistivité ρ ($\Omega.m$) diminue.

Plus le taux de carbone augmente \longrightarrow plus la résistivité ρ ($\Omega.m$) diminue.

-Comparaison de V_s et La résistance d'échantillon R_s et ρ dans le cas de pression sans et avec traitement thermique :

C'est le même effet de force sur l'échantillon.

4-Conclusion

Les résultats des essais que on a fait nous permettent de mesurer V_s et La résistance d'échantillon R_s et la résistivité ρ dans deux cas (l'expansion : (sans et avec le traitement thermique)) et (pression : (sans et avec le traitement thermique)) pour déterminer la meilleur cas d'échantillon .

Conclusion générale

Dans ce travail nous avons étudiée les propriétés mécaniques et électriques de matériaux polymères (le silicone pure, le silicone chargé par carbone).

Nous avons dans un première chapitre débiter par généralité sur les polymères électro-actifs et en consacrer sur les matériau d'étude (le silicone pure, le silicone chargé par carbone).

Le deuxième chapitre décrit en suit les essais réaliser pour déterminer l'effet de force sur le silicone pure, le silicone chargé par carbone qui nous permet de calculer module de Young E et coefficient de poisson U .

Le dernière chapitre est focaliser sur les résultat obtenu : la tension d'échantillon V_s et la résistance d'échantillon R_s et la résistivité ρ en fonction de la variation de force $F(N)$ dans deux cas (l'expansion : (sans et avec le traitement thermique)) et (pression : (sans et avec le traitement thermique)) pour déterminer la meilleur cas d'échantillon .

Ces conclusion ont naturellement des conséquences très importantes, cette polymère d'étude (le silicone pure, le silicone chargé par carbone) c'est un matériau intelligentes dont plus la force appliquée augmente plus la tension augmente. Et on peut le utiliser comme application (capteur).

Les références

[1] : Q. M. Zhang, V. Bharti, X. Zhao , "Giant electrostriction and relaxor ferroelectric behavior in electron-irradiated poly(vinylidene fluoridetrifluoroethylene) copolymer, *Materials Research Institute- Pennsylvania State University, USA Science vol. 280, 1998.*

[2] : Y. Bar-Cohen "Electroactive polymer (EAP) actuators as artificial muscles : reality, potential, and challenges" ,*SPIE Press, 2001.*

[3] : S. G. Wax, R. R. Sands, Electroactive polymer actuators and devices, DARPA Conference on Electroactive polymer actuators and devices, Newport Beach, California, mach 1999 SPIE vol 3669.

[4] :Y. Bar-Cohen, Electroactive polymer actuators as artificial muscles: reality, potential, and challenges,SPIE Press, Bellingham, Washington, USA, 2001.

[5] : G. Kofod, "Dielectric elastomer actuator" Laboratoire RIS, Technical University of Denmark, Denmark Phd-thesis, Septembre 2001.

[6] : M. Shahinpoor, K. J Kim, "Ionic polymer-metal composites : I Fundamentals" Artificial muscle research institute, University of New Mexico, USA Smart Material sand structures, 2001.

[7] : K. J Kim, M. Shahinpoor, "Ionic polymer-metal composites: II Manufacturing techniques" Artificial muscle research institut, University of New Mexico, USA Smart Materials and structures, 12, 65 - 79 (2003).

[8] : G. Poulin, Contribution au développement d'un générateur piezoelectrique pour applications nomades, Université Paris XI Orsay, France Doctorat, juin 2004.

[9] : F. Carpi, D. De Rossi, Electroactive polymer-based devices for e-textiles in biomedicine, University of Pisa, Italy IEEE-Transation on information in biomedecine, volume 9 no3, sep 2005.

[10] : C. Jean-Mistral, Récupération d'énergie mécanique par polymères électroactifs pour microsystèmes autonomes communicants, PhD. thèses, Institut National Polytechnique de Grenoble, CEA, 2008.

[11] : S. Le Dren. Elaboration de couches épaisses piézoélectriques déposées sur substrats pour des applications microtechniques. Thèse de l'INSA et de l'école Centrale de Lyon, INISTCNRS, Cote INIST : T 134119, soutenance en 2000.

[12] V. Sundar, R. E. Newnham, Anisotropy in electrostriction and elasticity, J. Mater. Sci. Lett, vol. 13, p. 799-801, 1994.

[13] : Pelrine Ronald E., Kornbluh Roy D., Joseph Jose P., Electrostriction of polymer dielectrics with compliant electrodes as a means of actuation. Sensors and Actuators A 64, 77-85 (1998).

[14] : M. Konyo, Y. Konishi, S. Tadokoro, T. Kishima, Development of velocity sensor using ionic polymer-metal composites. In Conference on Electroactive polymer actuators and devices, 2004 SPIE vol 5385,2004.

[15] : M. Shahinpoor, K. J. Kim. Ionic polymer-metal composites: III Modeling and simulation as biometric sensors, actuators, transducers, and artificial muscles. Smart Material sand structures, 2004.

[16] : K. J Kim, M. Shahinpoor, "Ionic polymer-metal composites: II Manufacturing techniques" Artificial muscle research institut, University of New Mexico, USA Smart Materials and structures, 12, 65 - 79 (2003).

[17] : M. Shahinpoor, Smart thin sheet batteries made with ionic polymer metal composites (IPMC's), Proceedings of ASME-IMECE2 (2004).

[18] : M. Shahinpoor, K.J. Kim, Ionic polymer-metal composites: IV Industrial and medical applications, Smart materials and structures 14 (2005) 197–214.

[19] : C. Jean-Mistral, Récupération d'énergie mécanique par polymères électroactifs pour microsystèmes autonomes communicants, PhD. thèses, Institut National Polytechnique de Grenoble, CEA, 2008.

[20] : ANSI/IEEE. IEEE standard on piezoelectricity (std 176-1987), 1987.

[21] : G. Sebald. Nouveaux monocristaux à forte conversion piézoélectrique: croissance, modélisation et caractérisation. PhD thèse, INSA de Lyon, 2005.

[22] : A. Hajjaji. Caractérisation multi échelle et lois de comportement dans les matériaux ferroélectriques. PhD thèse, INSA de Lyon, 2007.

[23] : Y. Liu, K. L. Ren, H. F. Hofmann and Q. Zhang, Investigation of electrostrictive polymers for energy harvesting" Pennsylvania State University, USA IEEE Transaction on Ultrasonics, ferroelectrics, and Frequency Control, vol. 52, n. 12, 2005.

[24] : Y. Liu, K. Pen, F. Hofmann, Q. Zhang, Electrostrictive polymers for mechanical energy harvesting, Dep of Electrical Engineering, Penn State University, USA Conference on Electroactive polymer actuators and devices, San Diego, 2004 SPIE vol 5385.

[25] : C. Jean-Mistral, Récupération d'énergie mécanique par polymères électroactifs pour microsystèmes autonomes communicants, PhD. thèses, Institut National Polytechnique de Grenoble, CEA, 2008.

[26] : R. Pelrine, R. Kornbluh, J. Eckerle, P. Jeuck, S. OH, Q. Pei, S. Stanford, Dielectric elastomer :generator mode fundamentals and applications, SRI International, USA Conference on Electroactive polymer actuators and devices, 2001 SPIE vol 4329.

[27] : M. Shahinpoor, A new effect in ionic polymeric gels: the ionic flexoelectric effect, Intelligent materials, structures and systems laboratory, University of New Mexico, USA SPIE Conference, 1995, vol 2441.

[28] : P.G. De Gennes, K. Okumura, M. Shahinpoor, K.J. Kim, Mechanoelectric effects in ionic gels, College de France, France and University of New Mexico, USA Europhysics Letters, vol 50, no 4, pp. 513-518,2000.

[39] : M. Shahinpoor, M. Mojarrad, Ionic polymer sensors and actuators, brevet US 6,475,639, nov 2002.

[30] : M. Shahinpoor, K. J. Kim. Ionic polymer-metal composites: III Modeling and simulation as biometric sensors, actuators, transducers, and artificial muscles. Smart Material sand structures, 2004.

الملخص:

في هذا العمل قمنا بدراسة تصميم لاقط يمكن بواسطته قياس الضغط المطبق عليه اي القوة المطبقة عليه لهذا الغرض وبعد دراسة مكتبية لعدة مواد بوليمرية تم اختيار السيليكون لاستعماله كمادة أساسية و لاكتساب خواص لهذا لاقط تم شحنه بشحن من الغرافيت حيث قمنا بدراسة الخواص الميكانيكية المتمثلة في معامل يونغ و ثابت بواسون وكذلك الخواص الكهربائية المتمثلة في توتر العينة و مقاومة العينة و المقاومة .

Résumé :

Dans ce travail, nous avons étudié conception d'un capteur pouvoir fait mesurer la contrainte appliquée sur laquelle (la force appliquée) et pour ce but et d'après étude des plusieurs matériaux polymères a été choisi le silicone pour le utiliser comme matériau principale et pour acquérir des propriétés pour ce capteur nous avons le chargé par des charges de graphite, on a fait une étude des propriétés mécanique (le module de Young E et le coefficient de poisson ν) et aussi les propriétés électrique (la tension d'échantillon V_s et la résistance d'échantillon R_s et le résistivité ρ) .

Abstract :

In this work, we studied design of a sensor is measuring the stress applied on which (the applied force) and for this purpose and after study of several polymer materials was chosen silicone for use as the main material and for property acquisition for this sensor we have charged of graphite charges , we did a study of the mechanical properties (Young's modulus E and Poisson constant ν) and also the electric properties ((sample voltage V_s and sample resistance R_s and the resistivity ρ).