



Mémoire de Master

Présenté au

Département : Génie Électrique
Domaine : Sciences et Technologies
Filière : Electromécanique
Spécialité : Electromécanique

Réalisé par :

AMALOU Fouaz

Et

TALEB Nabil

Thème

Influence du dopage sur les caractéristiques du Poly Méthyle-
Méthacrylate(PMMA)

Soutenu le: **06/11/2021**

Devant la commission composée de :

Mr : MAAFA	Prof.	Univ. Bouira	Président
Mr : DIB	M.C.B	Univ. Bouira	Examineur
Mm : N.KIRECHE	M.A.A	Univ. Bouira	Encadreur

Remerciements

Nous tenus en premier lieu à remercier le bon dieu tout puissant de nous avoir aidés à surmonter toutes les difficultés lors de nos études et ce ne sont pas ces quelques mots qui exprimeront nos sentiment les plus sincères.

Nous exprimons notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre encadreur Mme N.KIRECHE pour le soutien qu'il nous a témoigné et sa disponibilité tout au long de cette étude

Nous remercions également tous nos camarades

Enfin, il nous est particulièrement agréable d'exprimer ici notre reconnaissance envers nos familles respectives dont le soutien a été essentiel tout au long de nos études ainsi qu'à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Chapitre I :

Figure I.1. Différentes structures des polymères	3
Figure I.2. Molécule de DCP.....	4
Figure I.3. Synthèse du PMMA.....	5
Figure I.4. Le dipôle du PMMA.....	6
Figure I.5. Synthèse du copolymère styrène-acrylonitrile (SAN)	7

Chapitre II :

Figure II.1. Matériau composite.....	11
Figure II.2. Diverses formes et origines de renforts	11
Figure II.3. Différentes familles de matrice	12
Figure II.4. Composite monocouche.....	13
Figure II.5. Plaque stratifiée.....	14
Figure II.6. Composite sandwich	14
Figure II.7. Quelques matrices avant mise en forme.....	15
Figure II.8. (a) Particules (microbilles) de verre ; (b) fibres de verre courtes.....	16
Figure II.9. Fibres longues de carbone.....	17
Figure II.10. Un modèle réduit d'avion en tissu de carbone 3D.....	17
Figure II.11. Une feuille de pré-imprégné verre/époxy et son film de protection.....	18
Figure II.12. Le moulage au contact.....	19
Figure II.13. Le moulage sous vide.....	20
Figure II.14. La RTM.....	20
Figure II.15. Schémas de procédés automatisés.....	21

Chapitre III

Figure III.1. Impédance-mètre de type Gw Instek LCR-817.....	24
Figure III.2. Variation de la permittivité relative en fonction de la fréquence.....	25

Pour l'échantillon de copolymère (0%SAN et 100% PMMA)

Figure III.3. Variation de la permittivité relative en fonction de la fréquence pour.....	26
l'échantillon de copolymère (25% SAN et 75% PMMA)	
Figure III.4. Variation de la permittivité relative en fonction de la fréquence.....	26
pour l'échantillon de copolymère (37.5% SAN et 62.5% PMMA)	
Figure III.5. Variation de la permittivité relative en fonction de la fréquence.....	27
pour les différents échantillons dopés	
Figure III.6. Variation du facteur de dissipation en fonction de la fréquence pour.....	28
Figure III.7. Principe de base de la spectroscopie IR-FT	30
Figure.III.8.Spectroscopie infrarouge JASCO FT/IR-4200.....	30
Figure.III.9. Spectres FTIR du copolymère SAN/PMMA Spectres FTIR du.....	31
copolymère SAN/PMMA	

Liste des Tableaux

Tableau I.1. Principales applications des polymères choisis.....	5
Tableau I.2. Caractéristiques électriques du PMMA.....	6
Tableau I.3. Caractéristiques du SAN.....	7
Tableau III.1. Les différents pourcentages en SAN et en PMMA contenus dans le copolymère SAN/PMMA.....	23

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralité sur les polymères.	
I.1.Introduction.....	2
I.2.Définition d'un polymère.....	2
I.3. Structure des polymères.....	2
I.4. Polymérisation	4
I.5. Présentation du polymère étudié	4
I.5.1. Poly Méthyle-Méthacrylate(PMMA)	5
I.5.1.1. Synthèse	5
I.5.1.2. Caractéristiques du PMMA	6
I.5.2.Styrene Acrylonitrile(SAN).....	7
I.5.2.1. Synthèse	7
I.5.2.2. Caractéristiques du SAN	7
I.6. Conclusion	8
Chapitre II :Introduction aux matériaux composites	
II.1. Introduction	9
II.2. Définition d'un matériau composite	9
II.3. Classification des matériaux composites.....	10
II.3.1. Classification suivant la forme des constituants	10
II.3.2. Classification suivant la nature de la matrice	10
II.4.Eléments constituants d'un matériau composite.....	11
II.4.1.Le renfort	11
II.4.2 La matrice	11
II.4.3.Les charges	11

II.4.4. Les additifs	13
II. 5. Structure des matériaux composites	13
II.5.1. Les monocouches	13
I.5.2. Les Stratifiés	13
II.5.3. Sandwichs.....	14
II.6. Procèdes de mise en forme des composites	14
II.6.1. Les constituants élémentaires et les semi-produits	14
II.6.1.1. Matrices	15
II.6.1.2. Renforts	16
II.6.1.3. Le cas des pré-imprégnés	17
II.6.2. Mise en forme des composites à matrices organiques	18
II.6.2.1. Procédés manuels	19
II.6.2.2. Procédés mécanisés	20
II.7. Conclusion	22

Chapitre III : partie expérimentale :

III.1. Introduction	23
III.2. Préparation des échantillons.....	23
III.3. .Etude des propriété diélectrique du copolymère SAN/PMMA.....	24
Analyse par spectroscopie d'impédance.....	24
III.3.1. Permittivité relative.....	24
III.3.2. Facteur de dissipation.....	27
III.4. Etude des propriétés chimiques du copolymère SAN/PMMA par spectroscopie Infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)	28
III.4.1. Principe de la méthode d'analyse par infrarouge.....	28

III.4.2. Principe de fonctionnement du spectromètre a transformée de Fourier.....	29
III.4.3. Résultat d'analyse et interprétation.....	31
II.7.Conclusion	32

Introduction générale

Les plastiques représentent la plus grande famille des matériaux de synthèse, qui constitue en fait une large arborescence, allant des élastomères synthétiques aux applications des plastiques en solution : colles, peintures ou vernis. Ce sont, de tous les matériaux, ceux qui ont connu le développement le plus important au cours des dernières années. Cependant, on est encore très loin d'une saturation de l'emploi des matières plastiques, le développement et les besoins restant très porteurs [27]. Tenter de retracer un rapide historique de la chimie macromoléculaire revient à considérer trois dates essentielles [28]:

- 1870-Préparation de celluloïd, nitrocellulose plastifié par du camphre (Hyatt).
- 1909-Synthèse de la bakélite par condensation du formol et du phénol (Bækeland).
- 1922-Publication des travaux de STAUDINGER prix Nobel de chimie 1953.

L'homme a lui aussi apprend à faire des composites : les industries qui produisent des polymères à haute performance, renforcés par des fibres de verre, de carbone, ou de Kevlar bénéficient d'un taux de croissance plus rapide (+10% par an) que tout autre secteur industriel d'élaboration de matériaux. Ces matériaux nouveaux sont rigides, légers et résistants. Malgré leur coût, leur usage s'accroît dans l'aéronautique, les transports et les articles de sport. Et les perspectives d'un usage plus large sont nombreuses, dans des domaines comme le matériel de randonnée, le matériel médical et même des objets apparemment sans importance comme les montures de lunettes.

Par ailleurs les polymères récents sont aussi promoteurs que les nouveaux composites, en cristallisant ou en orientant les chaînes, on sait faire de nouveaux polymères qui ont la rigidité de l'aluminium; ils accéderont rapidement au stade de la production industrielle. Les nouvelles techniques d'élaboration peuvent procurer au matériau une bonne résistance à la chaleur et à la déformation mécanique, ce qui offre de nouveaux champs d'application aux polymères, qui tiennent déjà une part appréciable d'un marché auparavant dominé par les métaux. Aucun bureau d'étude ne peut ignorer les perspectives qu'offrent maintenant les polymères composites [29].

Chapitre I

I. Généralités sur les polymères

I.1. Introduction

Le concept de macromolécule a été formulé au début du vingtième siècle par le chimiste pionnier allemand, Staudinger. Il étudia, dès 1920, la structure et les propriétés de ces molécules géantes et inhabituelles à cette époque. Ses travaux, constituant la base de la science des polymères, lui ont permis de recevoir le prix Nobel de chimie beaucoup plus tard, en 1953. Les hypothèses de Staudinger furent très controversées par les scientifiques. En effet, ils pensaient que les polymères étaient formés par de petites molécules soudées entre elles, ou par des particules colloïdales. Le terme plastique désigne communément une famille, toujours plus nombreuse, de produits constitués de macromolécules (ou polymères) caractérisées par la répétition, un très grand nombre de fois, du même groupe d'atomes appelé motif constitutif. Ce dernier diffère d'un polymère à l'autre et détermine en grande partie les propriétés physiques et thermomécaniques du produit fini (après sa mise en œuvre). [1]

I.2. Définition d'un polymère

Un polymère est une substance composée de longues chaînes moléculaires appelées Macromolécules. Une macromolécule résulte de l'enchaînement par liaison covalente, d'unités constitutives (ou groupes d'atomes) appelés « mères » (provenant du grec «meros» qui signifie «partie») [2].

I.3. Structure des polymères

Les polymères sont des macromolécules : de longues chaînes d'atomes, essentiellement de carbone (C), d'hydrogène (H) et d'oxygène (O), parfois d'azote (N), de fluor (F), de chlore (Cl), etc [3]. Il existe plusieurs types des polymères dans les plus connus son donner par les schémas de la figure (I.1)

I.4. Polymérisation

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

Les polymères "purs" sont fragiles et sensibles à beaucoup d'agents extérieurs tels que la chaleur, la lumière, l'humidité ...etc. pour y remédier, les fabricants ajoutent diverses substances qui modifient et renforcent leurs propriétés. Les substances utilisées sont :

a. les antioxydants pour prévenir la dégradation du polymère par oxydation en fixant la majeure partie de l'oxygène [4] ; b. les agents de réticulation pour avoir une meilleure stabilité mécanique et thermique en formant des ponts intermoléculaires. L'agent de réticulation le plus usuel est un agent organique : le peroxyde de dicumyl (DCP) dont la molécule est représenté par la figure I.2 [4]:

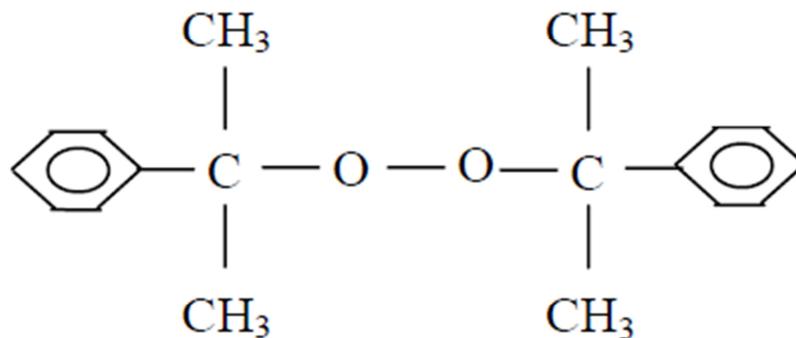


Figure I.2. Molécule de DCP

Les adjuvants tels que les plastifiants et les colorants pour améliorer une caractéristique donnée. Toutes ces substances peuvent réagir avec d'autres molécules, et leurs traces ou les produits de leurs dégradations se retrouvent dans la matrice solide. Des impuretés sont également présentes dans le polymère provoquant un désordre appelé désordre chimique car il est essentiellement dû à des résidus liés à la synthèse du polymère. Ces impuretés jouent un rôle important dans le transport de charge dans le matériau [5].

I.5. Présentation du polymère étudié

Nous avons mené notre étude sur deux polymères qui sont le poly méthyle-méthacrylate (PMMA) et le styrène acrylonitrile (SAN). Ces polymères sont largement

utilisés dans l'industrie du génie électrique en tant qu'isolant grâce à leurs excellentes caractéristiques diélectriques et mécaniques ainsi qu'à la facilité de leurs recyclages. Les principales applications de ces polymères sont données par le tableau I.1.

Notre choix pour ces deux polymères est dicté par le fait que peu d'informations sont disponibles concernant leurs comportements sous contrainte thermique ou électrique. Ces polymères sont des thermoplastiques ayant des caractéristiques thermomécaniques différentes. En effet, le PMMA et le SAN sont des polymères amorphes et polaires [5].

Polymère	Application
PMMA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fibres optique ▪ Panneaux solaires ▪ Appareillage électrique et électronique ▪ Nano composites
SAN	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Appareillage électrique et électronique

Tableau I.1. Principales applications des polymères choisis.

I.5.1. Poly Méthyle-Méthacrylate(PMMA)

I.5.1.1. Synthèse

Le PMMA est un thermoplastique linéaire amorphe dont le monomère est le méthacrylate de méthyle (MMA). Il est essentiellement produit par polymérisation radicalaire du méthyle comme le montre la figure I.3 [5].

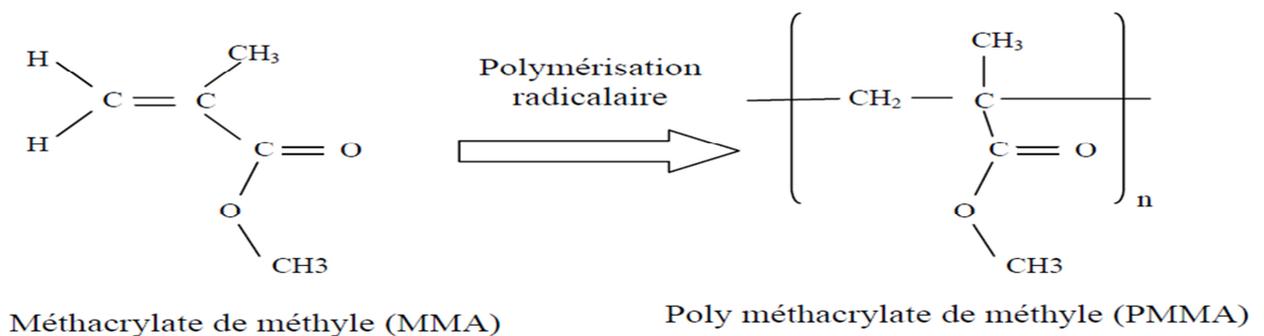


Figure I.3. Synthèse du PMMA.

Le PMMA comprend un groupe ester (COOCH_3) et un groupe méthyle (CH_3). La présence du groupement ester rend le polymère très polaire et son dipôle est la chaîne latérale flexible comme le montre la figure I.4.

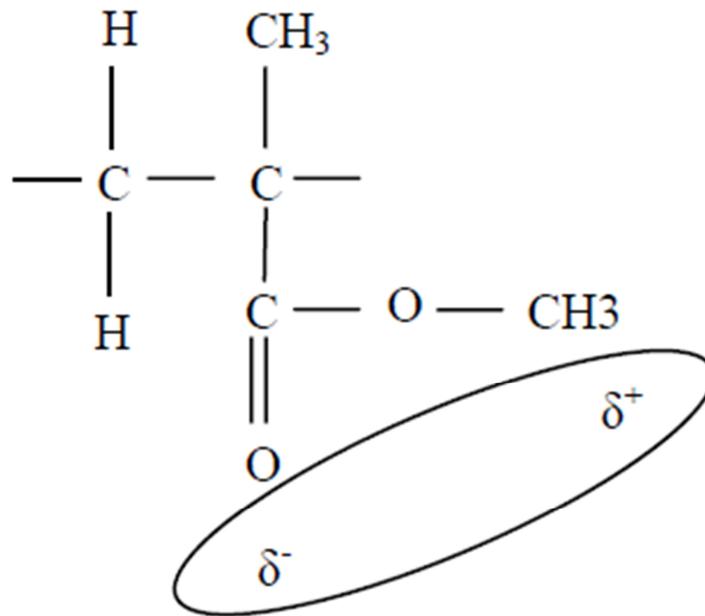


Figure I.4. Le dipôle du PMMA.

I.5.1.2. Caractéristiques du PMMA

La température de transition vitreuse (T_g) du PMMA pur est de $85.5\text{ }^\circ\text{C}$, mais peut atteindre $129.2\text{ }^\circ\text{C}$ avec un ajout de dopant. Les caractéristiques électriques du PMMA sont données par le tableau I.2. [5]

Permittivité relative ϵ_r	50 ou 60 Hz	3,0 à 4,0
	1 KHz	3,0 à 3,5
	1 MHz	2,7 à 3,2
Angle de pertes $\text{tg}\delta$	50 ou 60 Hz	$4 \cdot 10^{-2}$ à $5 \cdot 10^{-2}$
	1 KHz	$3 \cdot 10^{-2}$ à $5 \cdot 10^{-2}$
	1 MHz	$2 \cdot 10^{-2}$ à $3 \cdot 10^{-2}$
Rigidité diélectrique		15 à 20 KV/mm
Résistivité superficielle		10^{15} à $10^{16}\ \Omega$
Résistivité transversale		10^{15} à $10^{16}\ \Omega\cdot\text{cm}$

Tableau I.2. Caractéristiques électriques du PMMA [7]

I.5.2. Styrene Acrylonitrile (SAN)

I.5.2.1. Synthèse

Le styrène acrylonitrile (SAN) est un thermoplastique amorphe faisant partie de la famille des polymères styréniques. Il est commercialisé pour la première fois en 1940. Le SAN est composé du styrène et de l'acrylonitrile comme le montre la figure I.5. Généralement il contient 70 à 80 % du styrène et entre 20 et 30 % d'acrylonitrile. [6]

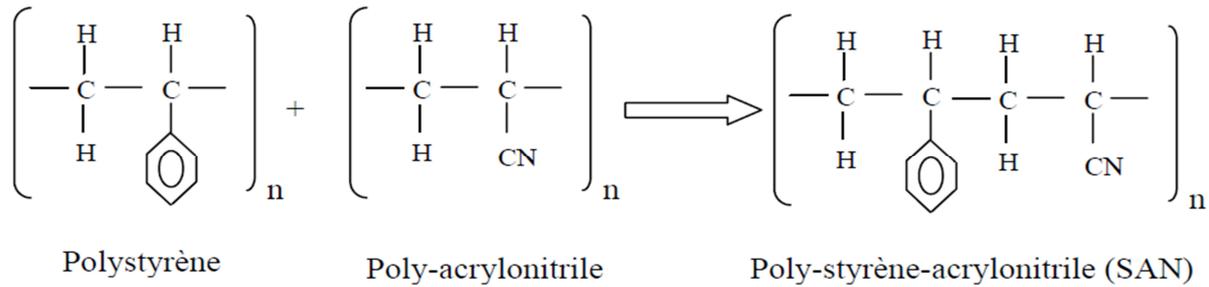


Figure I.5. Synthèse du co-polymère styrène-acrylonitrile (SAN) [6]

I.5.2.2. Caractéristiques du SAN

Les principales caractéristiques du SAN sont regroupées dans le tableau I.3.

		SAN
Permittivité relative ϵ_r	50 ou 60 Hz	3
	1 KHz	3
	1 MHz	2.4 à 2.6
Angle de pertes $\text{tg}\delta$	50 ou 60 Hz	$1 \cdot 10^{-4}$ à $5 \cdot 10^{-4}$
	1 KHz	0,01
	1 MHz	$4 \cdot 10^{-4}$ à $1 \cdot 10^{-3}$
Rigidité diélectrique		25 à 34 KV/mm
Résistivité transversale		$10^{16} \Omega$
Température de fusion		220 à 270 °C
Température de transition vitreuse tg		110 °C
Température de ramollissement		110 °C
Absorption d'eau %		0.25

Tableau I.3. Caractéristiques du SAN[6].

I.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné quelques rappels sur les polymères. En effet, nous avons donné les définitions des différentes structures des polymères amorphes, les caractéristiques et quelques exemples de leurs applications dans l'industrie du génie électrique. Nous nous sommes basés sur deux polymères, le PMMA et le SAN, qui avaient fait le sujet de notre mémoire.

Chapitre II

II.1. Introduction

Le développement des matériaux composites est né de la volonté d'allier les qualités techniques au besoin d'allègement dans un même matériau, qui par la suite doit s'adapter aux solutions technologiques des problèmes à résoudre. Un matériau composite résulte de l'association de deux matériaux différents aussi bien par leur forme que par leurs propriétés mécaniques ou chimiques pour tenter d'accroître leurs performances. Le remplacement des matériaux métalliques par les matériaux composites a été motivé par l'allègement des structures à propriétés mécaniques égales voire supérieures à celles des pièces métalliques, le coût global modéré (matière première, mise en œuvre...). Le procédé d'échauffement par irradiation micro-ondes concerne de nombreux secteurs industriels, parmi lesquels : l'agro-alimentaire, l'industrie des caoutchoucs et des plastiques (vulcanisation, polymérisation), la pharmacie (séchage de produits), le frittage de céramiques, le traitement de surface de polymères ainsi que la chimie de synthèse. Ce procédé est à présent amplement appliqué grâce à ses performances en termes de rapidité et d'amélioration de la qualité.

II.2. Définition d'un matériau composite

La définition générale des matériaux composites est : « un matériau composite est constitué de l'assemblage d'au moins deux matériaux non miscibles (mais ayant une forte capacité d'adhésion) et de natures différentes, se complétant et permettant d'obtenir un matériau dont les performances globales sont améliorées, vis-à-vis d'un besoin spécifique, par rapport à celles de ses constituants élémentaires ». Un matériau composite est constitué de différentes phases nommées « renforts » et « matrice ». Chacun des deux constituants jouent un rôle particulier dans la tenue mécanique du matériau. La matrice assure la cohésion entre les renforts de manière à recevoir toutes les sollicitations et répartir les efforts dans tout le matériau afin de protéger le renfort. Les renforts se présentent sous forme de fibres ou de particules, leur rôle est d'assurer la fonction de résistance mécanique aux efforts, et confère à la matrice des propriétés qu'elle ne possède pas seule. L'arrangement des fibres, leur orientation permet de renforcer les propriétés mécaniques de la structure [7].

II.3. Classification des matériaux composites

Les matériaux composites peuvent être classés suivant la forme des constituants ou suivant la nature des composants.

II.3.1. Classification suivant la forme des constituants

En fonction de la forme des constituants, les composites sont classés en deux grandes classe :

- **Composites à fibres**

On appelle un composite « composite à fibre », si le renfort se trouve sous forme de fibre (soit fibres continues, soit fibres discontinues, coupées ou courtes).

- **Composites à particules**

On appelle composite à particule, lorsque le renfort se trouve sous forme de particule. Contrairement à une fibre, la particule n'a pas de dimension privilégiée. Les particules sont généralement utilisées pour améliorer certaines propriétés des matériaux ou des matrices, comme la rigidité, la tenue à la température, la résistance à l'abrasion...etc, mais dans de nombreux cas, les particules sont simplement utilisées comme charges pour réduire le coût du matériau, sans en diminuer les caractéristiques.

Ce type de composite recouvre un domaine étendu dont le développement s'accroît sans cesse [8].

II.3.2. Classification suivant la nature de la matrice

Selon la nature de la matrice, les matériaux composites sont classés comme suit :

- **Composites à matrice organique** (résine, charges) : peuvent être utilisés dans le domaine des températures ne dépassant pas 300°C.
- **Composites à matrice métallique** (alliages légers et ultra légers d'aluminium, de Magnésium, de titane) : domaine des températures jusqu'à 600°C.
- **Composites à matrice minérale (céramique)** : domaine des températures jusqu'à 1000°C. Ce type de composite (matrice) peut être associé à divers renforts [9]

II.4.Éléments constitutifs d'un matériau composite

En général les constituants principaux d'un matériau composite sont :

- La matrice, le renfort ainsi que les charges et les additifs figure(II.1).

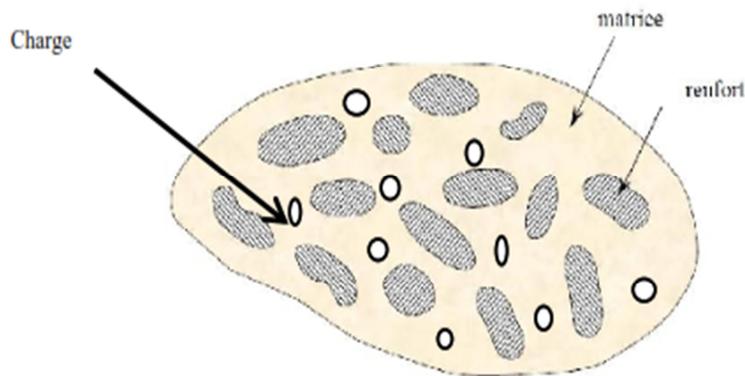


Figure II.1. Matériau composite [25].

II.4.1. Le renfort

C'est le principal porteur constitutif dans le composite (forme, volume). Il confère aux composites leurs caractéristiques mécaniques : rigidité, résistance à la rupture, dureté. Les renforts peuvent être d'origine minérale (verre, bore, céramique...) ou organique (carbone ou aramide). Les plus employées sont les fibres de verre. Les fibres de carbone sont privilégiées [10]. La figure II.2 nous donne les diverses formes et origines de renforts.

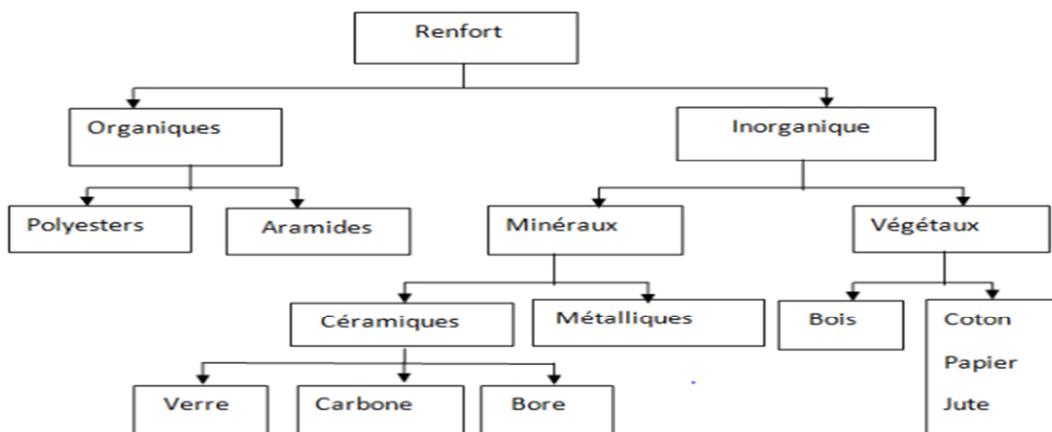


Figure II.2. Diverses formes et origines de renforts [10]

II.4.2 La matrice

La matrice est l'élément qui lie et maintient les fibres et les particules. Elle répartit les efforts (résistance à la compression ou à la flexion) et assure la protection chimique des fibres et les particules.[25]

La classification des types de matrices couramment rencontrées est donnée sur la figure (II.3)

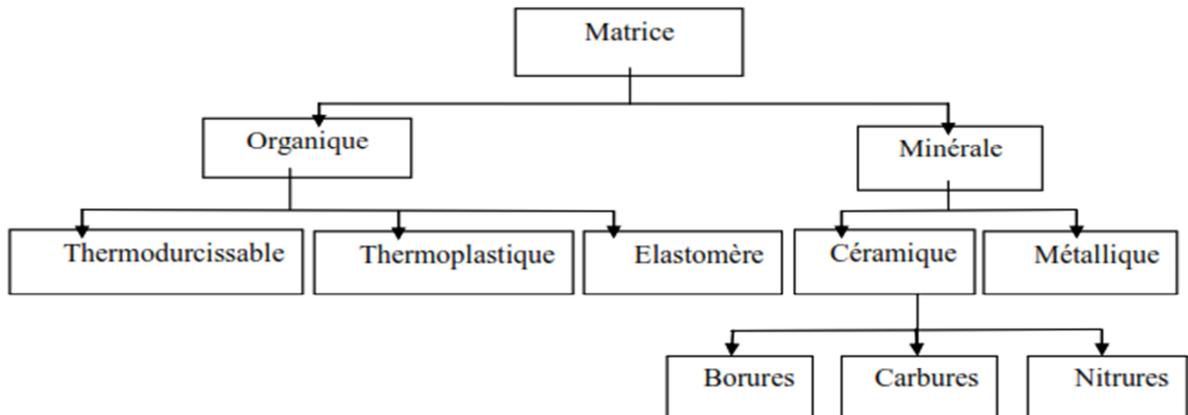


Figure II.3. Différentes familles de matrice [25].

II.4.3.les charges [11]

- **Charges renforçantes**

L'objet de l'incorporation de charges renforçantes est d'améliorer les caractéristiques mécaniques de la résine. Ces charges peuvent être classées suivant leur forme géométrique en :

- Charges sphériques
- Charges non sphériques

- **Charges non renforçantes :**

Les charges non renforçantes ont pour rôle soit de diminuer le coût des résines en conservant les performances des résines, soit d'améliorer certaines propriétés des résines.

Parmi ces classes on trouve :

- Charges de faible coût.
- Charges ignifugeantes.
- Charges conductrices et antistatiques

II.4.4. Les additifs

Les additifs se trouvent en faible quantité (quelques % et moins) et interviennent comme : [11]

- Lubrifiants et agents de démoulage

- Pigments et colorants
- Agents anti-retrait
- Agents anti-ultraviolets

II. 5. Structure des matériaux composites

Les structures des matériaux composites peuvent être classées en trois types

- Les monocouches
- Les stratifiées
- Les sandwiches

II.5.1. Les monocouches

Les monocouches sont les éléments de base des structures composites. Des fibres unidirectionnelles placées dans le plan médian sont emprisonnées dans une matrice polymère. Ils sont caractérisés par le type de renfort utilisé : des fibres longues (unidirectionnelles ou non), courtes, sous forme de tissus ou de rubans La figure (II.4) représente un composite monocouche. [12]

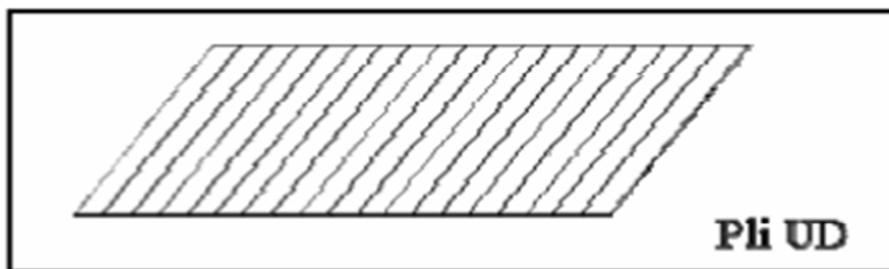


Figure II.4. Composite monocouche [12].

I.5.2. Les Stratifiés

On appelle stratifié un matériau composé d'un ensemble ordonné de couches d'orientation et d'épaisseur données, constituées de divers matériaux figure(II.5). Une couche d'un stratifié est souvent appelée une strate. Le type de stratifié est défini généralement par sa séquence d'empilement, information qui fournit de manière synthétique l'orientation des diverses couches d'un stratifié. L'avantage que présentent les composites stratifiés est de permettre de créer des matériaux aux propriétés mécaniques orientées de manière optimale afin de mieux répondre aux sollicitations de la structure [13].

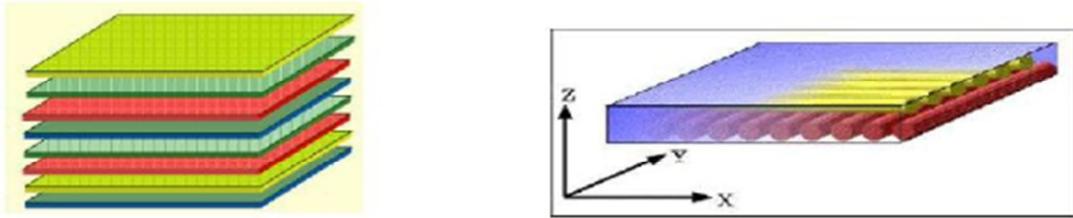


Figure II.5. Plaque stratifiée [13].

II.5.3. Sandwichs

Les sandwichs sont des matériaux composés de deux semelles (ou peaux) de grande rigidité et de faible épaisseur enveloppant une âme (ou cœur) de forte épaisseur et faible résistance figure (II.6). L'ensemble forme une structure d'une grande légèreté. Le matériau sandwich possède une grande légèreté en flexion et c'est un excellent isolant thermique [10].

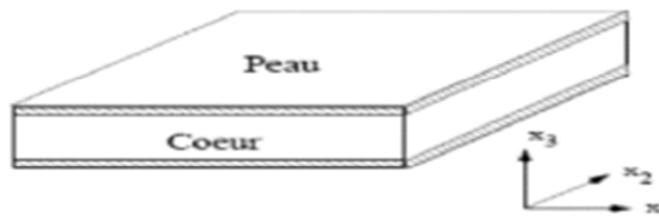


Figure II.6. Composite sandwich [10].

II.6. Procèdes de mise en forme des composites

Cette ressource présente quelques procédés utilisés pour la mise en forme des pièces composites à fibres longues. Ces procédés consistent de manière générale à disposer les fibres en fonction des sollicitations exercées sur la pièce, et à mouler la matrice autour des fibres.

II.6.1. Les constituants élémentaires et les semi-produits

Au cours de la mise en forme, les pièces composites sont directement fabriquées à partir de leurs constituants élémentaires : les renforts et la matrice. Ces derniers peuvent être fournis :

- Soit séparément
- Soit sous forme de pré-imprégnés, c'est-à-dire de renforts déjà imprégnés de matrice (Liquide ou semi-solide, selon les cas).

Les constituants, qu'ils soient pré-imprégnés ou non, peuvent être de différents types et fournis sous différentes formes.

II.6.1.1. Matrices

Il existe trois grandes familles de matrices :

- Les matrices organiques qui sont des résines polymères ces matrices peuvent être :
 - Soit thermoplastiques ; il s'agit alors de granulés solides figure (II.7.a) que l'on chauffe pour les ramollir avant de les mettre en forme ;
 - Soit thermodurcissables (les plus utilisées) ; il s'agit alors de précurseurs liquides figure(II.7.b) qui, après l'ajout d'un catalyseur, réagissent pour former la matrice (c'est la polymérisation), ce qui entraîne une solidification ;
- Les matrices céramiques, dont la mise en forme fait appel à des précurseurs liquides figure(II.7.c) ou gazeux, qui réagissent pour former la matrice ;
- Les matrices métalliques, qui sont initialement sous forme de métal fondu (ou, parfois, de poudres métalliques que l'on met en forme par frittage) [14].



(a)



(b)



(c)

Figure II.7. Quelques matrices avant mise en forme : **(a)** granulés thermoplastiques, **(b)** résine thermodurcissable, **(c)** silicium fondu, utilisé pour former une matrice de carbure de silicium [14]

Les procédés utilisés pour mettre en forme ces matrices entrent tous dans la catégorie (très vaste!) du moulage, mais les principes physico-chimiques employés diffèrent d'une famille à l'autre.

Schématiquement, les matrices thermoplastiques et métalliques sont fondues puis moulées avec leurs renforts, tandis que les matrices thermodurcissables (ou, plus exactement, « thermodurcies ») et céramiques sont directement synthétisées sur place, autour de leurs renforts, à partir de réactifs fluides.

II.6.1.2. Renforts

Il existe trois grands types de renforts : les particules, les fibres courtes et les fibres longues. Le cas le plus simple est celui des particules figure (II.8.a) et des fibres courtes figure (II.8.b). Ces renforts sont directement incorporés à la matrice avant la mise en forme, et les procédés utilisés sont alors très proches de ceux que l'on utilise traditionnellement pour mettre en forme les résines, céramiques ou métaux non renforcés [15].



Figure II.8. (a) Particules (microbilles) de verre ; **(b)** fibres de verre courtes [15].

Le cas des fibres longues, auquel est consacré l'essentiel de cette ressource, est plus complexe. En effet, le principal intérêt de ces fibres est la possibilité de choisir leur orientation, ce qui permet de renforcer la pièce dans les directions selon lesquelles elle est la plus sollicitée. Cependant, les fibres étant de diamètre microscopique (quelques microns), il n'est naturellement pas envisageable de les disposer une à une. Elles sont donc fournies sous la forme de *semi-produits* pouvant être de plusieurs types:[15]

- Soit des plis ou nappes, pouvant être unidirectionnels (toutes les fibres sont parallèles, comme le montre la figure (II.9. a) ou mats (les fibres sont disposées « en vrac » dans toutes les directions du plan) ces plis sont alors fournis en rouleaux ;
- Soit des fils, formés de nombreuses fibres tressées entre elles, et fournis en bobines figure (II.9. b) ;
- Soit des tissus plans préfabriqués à l'aide de ces fils, et fournis en rouleaux figure (II.9. c).

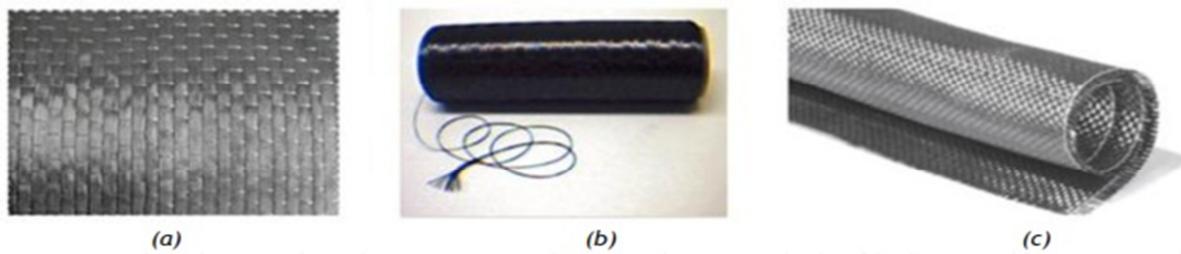


Figure II.9. Fibres longues de carbone : **(a)** en rouleaux unidirectionnels (les fils de trame blancs ne sont là que pour maintenir les fibres parallèles), **(b)** en bobines de fils (on distingue les fibres à l'extrémité du fil, **(c)** en rouleaux de tissu 2D équilibré [15]

En outre, pour mettre en forme certains composites, il est nécessaire de réaliser des préformes fibreuses, c'est-à-dire des tissus tridimensionnels ayant la forme de la pièce, au sein desquels on déposera ensuite la matrice. La réalisation de ces préformes s'effectue le plus souvent par superposition de couches de tissus 2D, généralement liés par aiguilletage ; pour des géométries complexes, le coût de cette opération peut être non négligeable. La figure(II.10) montre un exemple d'un tel tissu. Il existe en outre des machines capables de réaliser directement des tissus 3D, là encore à un coût significatif.



Figure II.10. Un modèle réduit d'avion en tissu de carbone 3D, réalisé pour tester un procédé de fabrication de préformes (image de l'Université nationale du design et des technologies de Moscou) [15]

II.6.1.3. Le cas des pré-imprégnés

Comme indiqué ci-dessus, certains procédés de mise en forme ne font pas appel à des fibres et de la matrice séparés, mais à des semi-produits nommés pré-imprégnés (couramment abrégés en prepregs), c'est-à-dire des plis ou des tissus déjà enduits de matrice semi-solide, fournis sous forme de feuilles figure(II.11) ou de rouleaux. Les pré-imprégnés sont essentiellement utilisés pour les composites à matrices organiques thermodurcissables.



Figure II.11. Une feuille de pré-imprégné verre/époxy et son film de protection [16].

La mise en forme des pré-imprégnés consiste simplement à les solidifier à leur forme finale : le dosage des constituants est déjà effectué. Ceci représente un avantage considérable car la teneur en fibres et en matrice étant soigneusement contrôlée, on évite tout excès de matrice qui se traduirait par une dégradation des propriétés mécaniques (puisque celles-ci proviennent essentiellement des fibres). En contrepartie, il s'agit d'une technologie coûteuse, pour deux raisons. Premièrement, les pré-imprégnés sont chers à l'achat ; deuxièmement, ils nécessitent des équipements spécifiques pour leur stockage et leur mise en forme car ils sont fournis en cours de polymérisation (le catalyseur est incorporé à la matrice lors de leur fabrication) et la cinétique de la réaction doit donc être contrôlée avec soin, ce qui nécessite :

- De les stocker au froid (afin de ralentir la réaction), au congélateur ou en chambre froide, et toujours pendant une durée limitée ;
- De les mettre en forme à chaud (afin d'accélérer la réaction) et sous pression, généralement au four ou à l'autoclave.

La pré-imprégnation est également utilisée avec les matrices thermoplastiques, et même avec les matrices métalliques. Les contraintes d'utilisation sont alors différentes (stockage à chaud et non à froid) mais les avantages et inconvénients sont relativement comparables [16].

II.6.2. Mise en forme des composites à matrices organiques

De manière générale, la mise en forme des composites à matrices organiques s'effectue par moulage et comporte deux grandes étapes :

1. Disposer les fibres et la matrice liquide dans un moule ;
2. Solidifier la matrice.

Les problématiques associées à ces procédés sont donc celles du moulage (assurer le remplissage sans bulles ou vides, limiter le retrait, garantir la forme de la pièce...), auxquelles s'ajoute le dosage correct des deux constituants, primordial pour assurer de bonnes propriétés mécaniques. Pour y répondre, de nombreux procédés ont été proposés, qui diffèrent par la nature du moule (ouvert ou fermé), le principe utilisé pour le remplir et l'ordre des différentes opérations [16].

II.6.2.1. Procédés manuels

Certains procédés sont entièrement manuels, et utilisent un moule ouvert dans lequel un opérateur dépose les fibres et la matrice. Le plus simple d'entre eux est le moulage au contact : il s'agit de réaliser un stratifié en déposant, alternativement, des couches de résine liquide et des couches de tissu figure (II.12). L'opérateur comprime le tout avec un rouleau, ce qui permet d'imprégner le tissu de résine et de chasser l'air. Une fois la stratification terminée, l'ensemble est mis à solidifier dans une étuve ou à température ambiante.

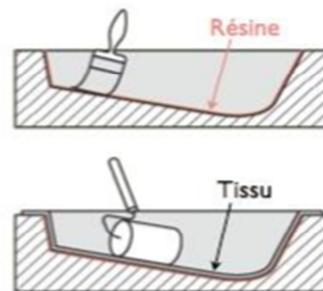


Figure II.12. Le moulage au contact [16]

Ce procédé est peu coûteux, bien adapté aux petites séries, et permet la fabrication de très grandes pièces (coques de bateaux, piscines, réservoirs...etc.). Un de ses inconvénients est qu'il est difficile de bien doser et de bien répartir la résine ; la qualité de la pièce dépend donc fortement de l'habileté de l'opérateur, et est dans tous les cas assez peu contrôlable. Il est possible d'y remédier en utilisant une bache à vide pour aspirer l'excès de résine et d'air ; il s'agit de recouvrir le stratifié, avant solidification, d'un tissu absorbant et de placer le tout sous une bache (ou dans un sac) étanche dans lequel on fait un vide partiel à l'aide d'une pompe figure (II.13). Cela plaque la bache contre le stratifié et chasse partiellement l'excès de résine et les bulles. On parle alors de moulage sous vide [17].

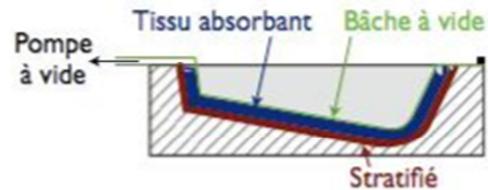
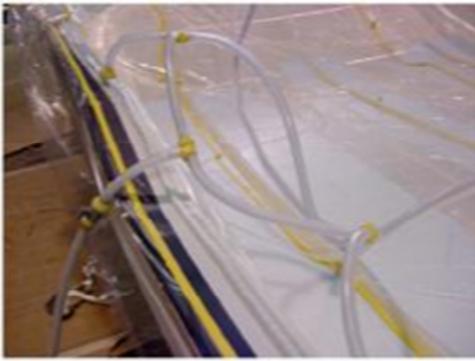


Figure II.13. Le moulage sous vide [17]

II.6.2.2. Procédés mécanisés

D'autres procédés utilisent des outillages plus lourds et sont donc réservés aux séries plus importantes. Par exemple, la RTM (pour Resin Transfer Molding) consiste à disposer les fibres au sein d'un moule fermé dans lequel on injecte la résine sous pression, à l'aide d'une pompe figure (II.14). Il en existe deux variantes : la RTM « standard » qui utilise un moule très rigide et lourd, et la RTM « éco » ou « light » qui utilise un moule semi-rigide et s'effectue donc à des pressions moins élevées ; une pompe à vide fournit alors une assistance supplémentaire pour aspirer la résine. Par rapport à l'infusion, l'emploi d'un moule fermé permet un meilleur contrôle de l'épaisseur des pièces, moyennant un outillage nettement plus coûteux.

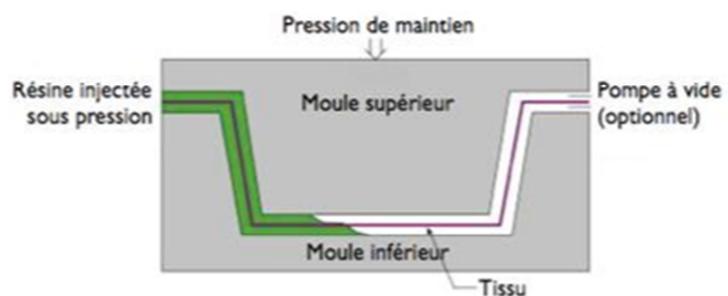


Figure II.14. La RTM [18].

Il existe en outre des procédés complètement automatisés, fonctionnant de manière ininterrompue mais dédiés à des géométries particulières. Citons par exemple l'enroulement filamentaire figure (15.a), destiné à fabriquer des tubes (souvent cylindriques de révolution, mais pas toujours) qui consiste à enrouler des fibres imprégnées de résine autour d'un mandrin jouant le rôle d'un moule intérieur. Un autre exemple important est la pultrusion

figure (15.b) destinée à créer des profils de sections quelconques, qui consiste à faire passer des fibres imprégnées de résine à travers une filière d'extrusion, en les « tirant » à l'aide de rouleaux (d'où son nom, combinaison de l'anglais to pull et de extrusion).

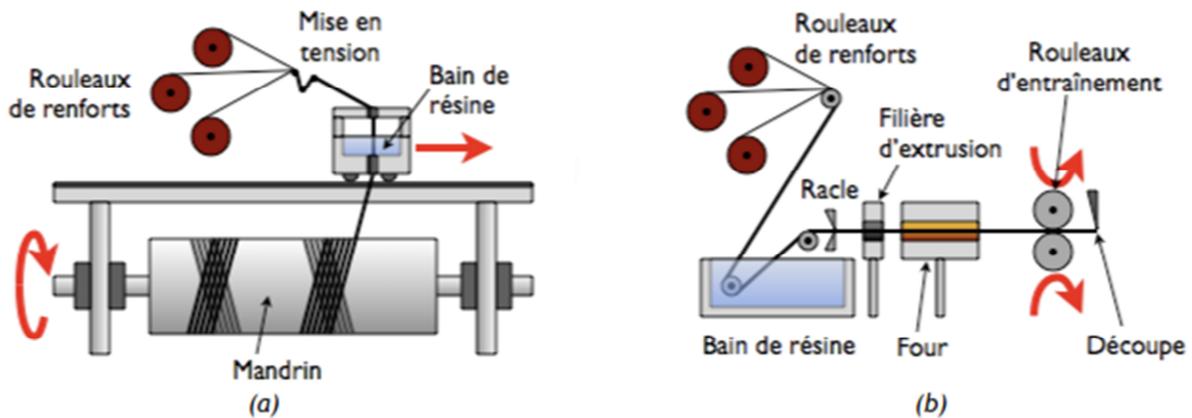


Figure 15. Schémas de procédés automatisés ; **(a)** l'enroulement filamentaire ; **(b)** la pultrusion [18].

Ces procédés donnent des pièces de bonne qualité et sont adaptés aux productions en grande série. Leurs principales limitations, outre les contraintes sur la géométrie des pièces, portent sur les directions des renforts ainsi mis en place. En effet, la pultrusion installe des renforts axiaux (ce qui conduit à des comportements fortement anisotropes !), tandis que l'enroulement filamentaire installe des renforts obliques ou circonférentiels. Le choix de l'un de ces procédés doit donc dépendre de l'application visée. Par exemple, un même tube cylindrique pourrait être réalisé :

- Par pultrusion, s'il est principalement sollicité en traction ou en flexion (poutres...)
Plutôt par enroulement filamentaire, s'il est principalement soumis à une pression interne (réservoirs, tuyaux...). Pour des applications spécifiques, il est en outre possible de « personnaliser » ces procédés : par exemple, le pull-winding consiste à effectuer un enroulement filamentaire autour d'une âme obtenue par pultrusion et permet donc d'obtenir deux directions de renforts. Naturellement, le choix d'un tel procédé doit être fait en amont, lors de la définition de l'orientation des renforts [18].

II.7. Conclusion

Dans la première partie de ce chapitre nous avons donné la définition, la classification ainsi que les éléments constituant des matériaux composites. Dans la deuxième partie nous avons présenté la structure et les procédés de mise en forme de ces matériaux.

Références bibliographiques

- [7]. Berthelot J-M.; “Matériaux composites” ; Editions Eyrolles ; 2010.
- [8] Chretien G.; “ Matériaux composites à matrice organique” ; Techniques et documentations , Lavoisier ;1986.
- [9] Berbain F., Chevalier A.; “ Mise en oeuvre des plastiques renforcés” ; Technique de l'ingénieur, traité A 9 III, article 3250.
- [10] Boudenne A.; “Etude expérimentale et théorique des propriétés thermophysiques des matériaux composites à matrice polymère” ; Université PARIS XII ; 2003.
- [11] Berthelot J. M.; “Matériaux composites « comportement mécanique et analyse des Structures” ; édition TEC et DOC ; 1999.
- [12] Behlouli N.; “Les matériaux composites” ; cours des matériaux composites, Université de Strasbourg ; France.
- [13] Cugnoni J.; “ Identification par recalage modal et fréquentiel des propriétés constitutives de coques en matériaux composites” ; Thèse de....; Ecole Polytechnique fédérale de Lausanne ,Suisse ; 2005.
- [14] : <https://www.flickr.com/photos/28451803@N00/2414135327>
- [15] http://pegase.ens-lyon.fr/activite.php?rubrique=1&id_theme=7&id_activite=8
- [16] <http://www.cvm.qc.ca/geoffrio/index/materiau/cours13/cours13.html>
- [17] http://www.ssicomposites.com/processes_vb.html
- [18] <http://www.netcomposites.com/guide/pultrusion/55>

Chapitre III

III.1.Introduction

Bien que le PMMA soit connu par ses propriétés excellentes dans l'ingénierie, son utilisation de plus en plus dans des applications différentes et l'émergence d'un grand nombre d'isolants dans le domaine industrielle, rend l'amélioration de ses propriétés physicochimiques d'une nécessité primordiale. Dans ce contexte plusieurs techniques ont été utilisées, dont l'une d'elles est le mélange de deux polymères. En effet, plusieurs types de polymères ont été ajoutés au PMMA par les chercheurs dans le but d'améliorer ses propriétés que ce soit en solution ou en nanoparticules comme par exemple le PS/PMMA [19].

Dans ce chapitre, nous nous intéresserons à l'étude du mélange SAN/PMMA tout en essayant de suivre l'influence de la concentration du SAN sur l'amélioration des propriétés du PMMA, sachant que les deux polymères présentent le même solvant (l'acétone).

III.2. Préparation des échantillons

Les échantillons de copolymère SAN/PMMA ont été préparés au niveau du laboratoire de chimie de l'université Akli Mohand Oulhadj de BOUIRA. Afin d'assurer la reproductibilité et la précision des résultats, nous avons usiné des échantillons de même dimensions à partir d'une même plaque commerciale de PMMA et d'une même plaque de SAN. Pour se faire, nous avons mélangé des morceaux de SAN avec des morceaux de PMMA, après les avoir nettoyés avec de l'alcool, dans un solvant (l'acétone), puis nous avons étalé la solution obtenue sur des moules en verre. Après évaporation de l'acétone, nous avons obtenu des plaques de copolymère SAN/PMMA d'une même épaisseur et de 4g chacune. Les pourcentages en SAN et en PMMA sont donnés par le tableau III.1 suivant :

Tableau III.1. Les différents pourcentages en SAN et en PMMA contenus dans le copolymère SAN/PMMA.

Poids de PMMA en (g)	4	3.5	3	2.5	2
Poids de SAN en (g)	0	0.5	1	1.5	2
Poids de copolymère en (g)	4	4	4	4	4
Concentration en % du copolymère en SAN	0	12.5	25	37.5	50

III.3. Etude des propriétés diélectriques du copolymère SAN/PMMA

Analyse par spectroscopie d'impédance

Nous avons étudié la variation de la permittivité relative, le facteur de dissipation $\text{tg}\delta$ (angle de pertes) et l'indice de perte diélectrique en fonction de la fréquence, en utilisant un analyseur d'impédance modèle Gw Instek LCR-817. Cet appareil nous permet de mesurer la résistance R , le facteur de dissipation $\text{tg}\delta$ et la capacité C en fonction de la fréquence qui peut varier entre 0.5 KHz et 10 KHz



Figure III.1. Impédance-mètre de type Gw Instek LCR-817.

III.3.1. permittivité relative

La permittivité relative est déduite de la mesure de la capacité à l'aide de la relation suivante [24]:

$$\epsilon_r = \frac{e C}{\epsilon_0 S}$$

Avec :

- e : l'épaisseur de l'échantillon (m)
- ϵ_0 : la permittivité du vide $8,5.10^{-12}$ (F/m)
- C : la capacité entre les deux électrodes (F)

- S : la surface de l'échantillon (m^2)

Les figures (III.2), (III.3) et (III.4) représentent l'évolution de la permittivité relative en fonction de la fréquence pour des dopages de 0%, 25% et de 37.5 de SAN respectivement. On remarque que la constante diélectrique (permittivité relative) diminue avec l'augmentation de fréquence. La diminution est plus accentuée pour les faibles fréquences.

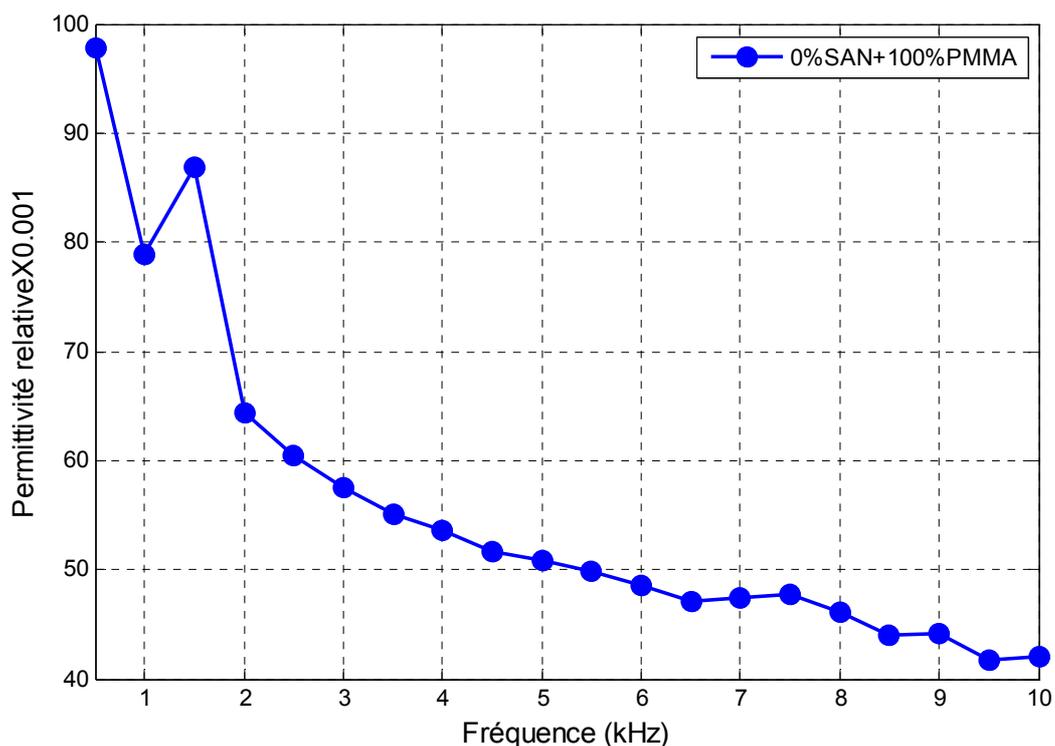


Figure III.2. Variation de la permittivité relative en fonction de la fréquence
Pour l'échantillon de copolymère (0%SAN et 100% PMMA).

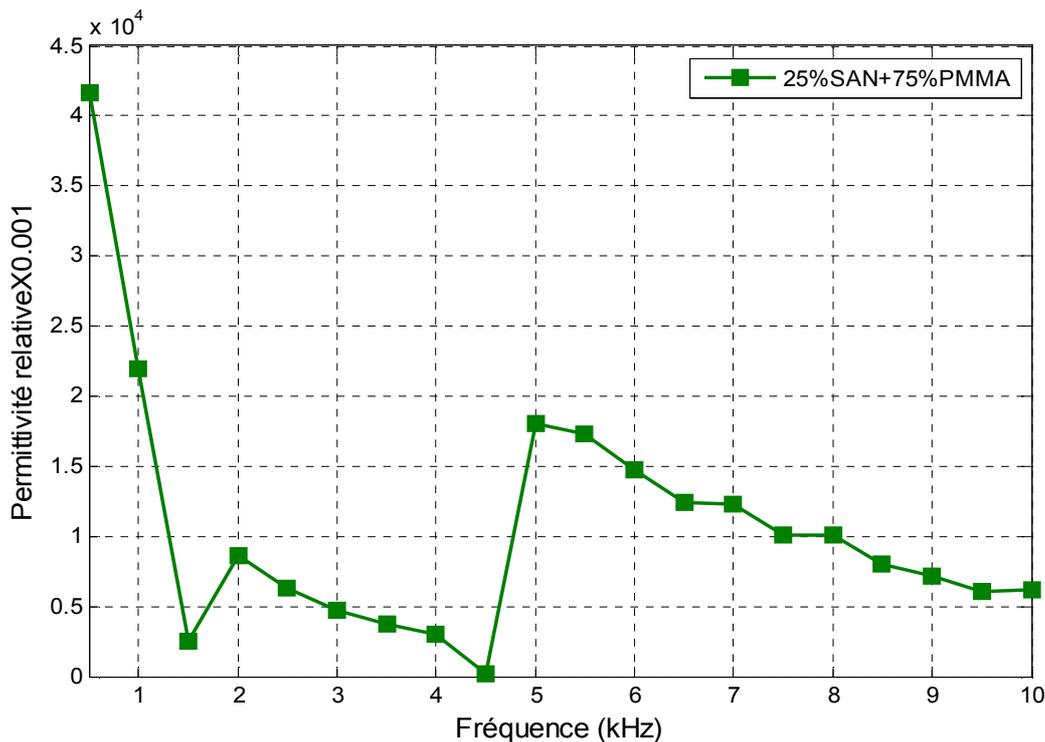


Figure III.3. Variation de la permittivité relative en fonction de la fréquence pour l'échantillon de copolymère (25% SAN et 75% PMMA)

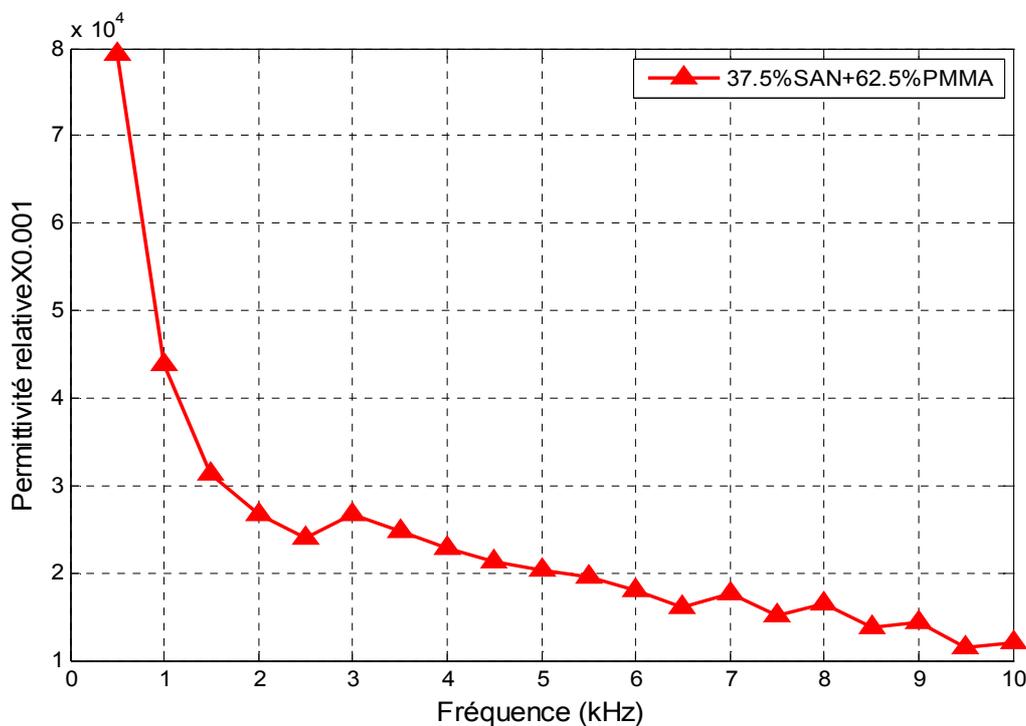


Figure III.4. Variation de la permittivité relative en fonction de la fréquence pour l'échantillon de copolymère (37.5% SAN et 62.5% PMMA)

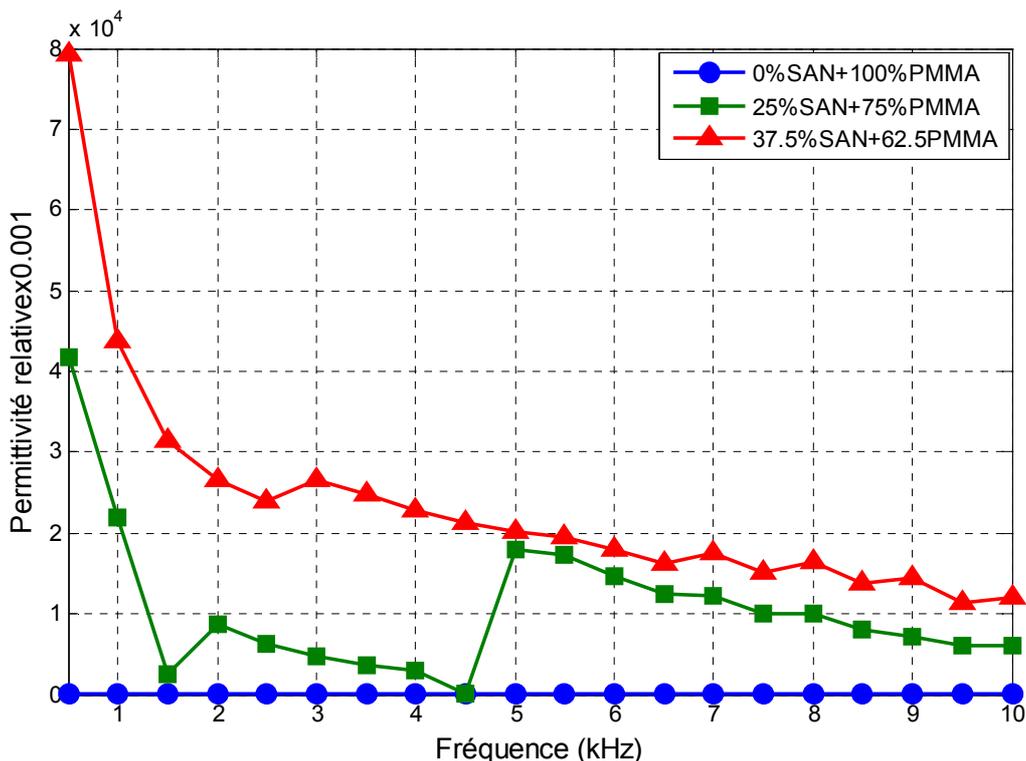


Figure III.5. Variation de la permittivité relative en fonction de la fréquence pour les différents échantillons dopés

En observant les figures III.2, III.3, III.4 et III.5, on remarque que la permittivité relatives de tous les échantillons diminue avec l’augmentation de la fréquence mais augmente avec l’augmentation en pourcentage du taux de SAN (figure III.5) contenu dans le matériau composite SAN/PMMA.

III.3.2. Facteur de dissipation

Les valeurs du facteur de dissipation ($\text{tg } \delta$) sont relevées directement sur l’analyseur d’impédance-mètre. La figure III.6 représente la variation du facteur de dissipation en fonction de la fréquence pour différents échantillons du copolymère.

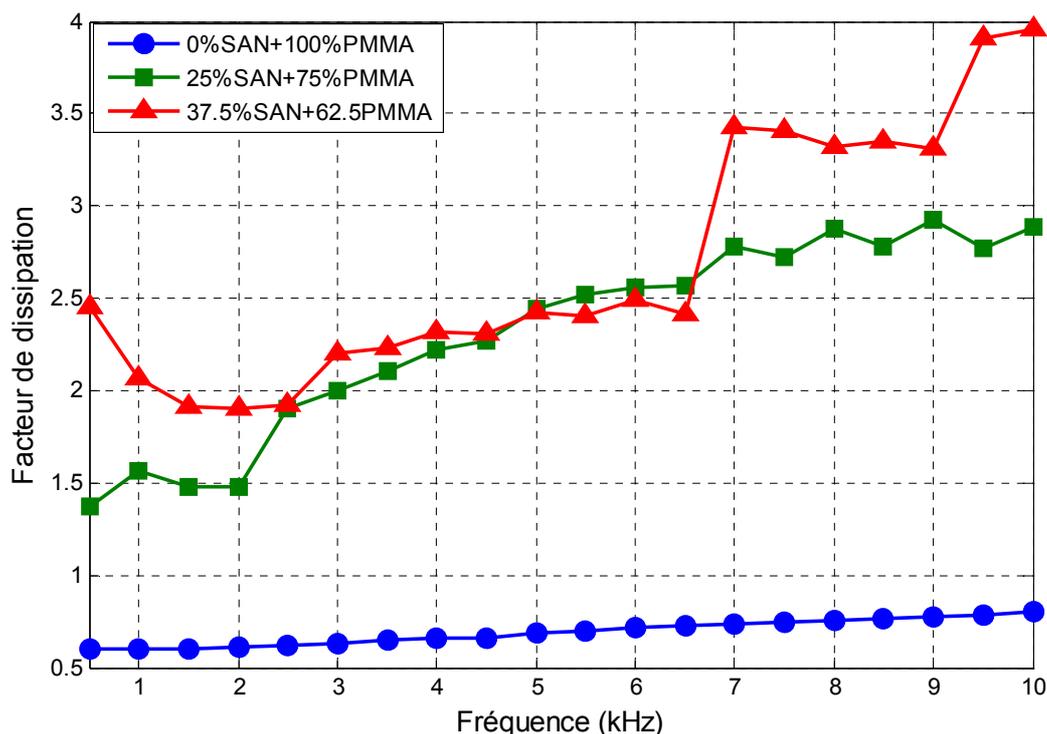


Figure III.6. Variation du facteur de dissipation en fonction de la fréquence pour

du copolymère SAN/PMMA pour différents taux de styrène acrylonitrile (SAN) ajouté.

La figure III.6 montre que le facteur de dissipation $\text{tg } \delta$ augmente avec l'augmentation de la fréquence, contrairement à la permittivité relative, et ce pour les différents échantillons. Ce qui dénote le réarrangement de la structure chimique du PMMA après son dopage.

III.4. Etude des propriétés chimiques du copolymère SAN/PMMA par spectroscopie

Infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)

III.4.1. Principe de la méthode d'analyse par infrarouge

Si la fréquence du champ magnétique associé au rayonnement est voisine de la fréquence d'un des modes de vibration d'une molécule du matériau, il y a absorption de l'énergie. La molécule ayant absorbé de l'énergie entre en vibration et passe d'un niveau d'énergie stable à un autre. La fréquence de vibration de la molécule dépend de la géométrie, de la masse molaire des atomes et de la nature de leurs liaisons [20].

La différence entre l'intensité du spectre du rayonnement IR de référence et celle du spectre du rayonnement traversant l'échantillon à une certaine longueur d'onde se révélera

sous la forme d'un « pic ». Chaque pic est caractérisé par sa position (longueur d'onde λ) et son coefficient d'absorption ϵ . Le coefficient d'absorption ϵ suit l'échelle suivante [21]:

- Très faibles (vw, very weak)
- Faibles (w, weak)
- Moyens (m, medium)
- Intenses (s, strong)
- Très intenses (vs, very strong)

C'est la détection des vibrations caractéristiques des liaisons chimiques qui permet l'analyse des fonctions chimiques présentes dans le matériau.

III.4.2. Principe de fonctionnement du spectromètre à transformée de Fourier

Le schéma de principe du spectromètre IR-FT est illustré par la figure III.7. Le rayonnement émis par la source (rayonnement IR) est focalisé sur l'interféromètre puis arrive à la séparatrice qui le divise en deux parties égales, l'une orientée sur le miroir fixe et l'autre sur le miroir mobile.

Les deux faisceaux se recombinent sur la séparatrice et passent par la suite vers l'échantillon, où les absorptions interviennent avant d'atteindre le détecteur. Le faisceau arrive ensuite sur le détecteur pour être transformé en signal électrique. L'interférogramme est ensuite converti en un spectre infrarouge par une opération mathématique appelée transformée de Fourier.

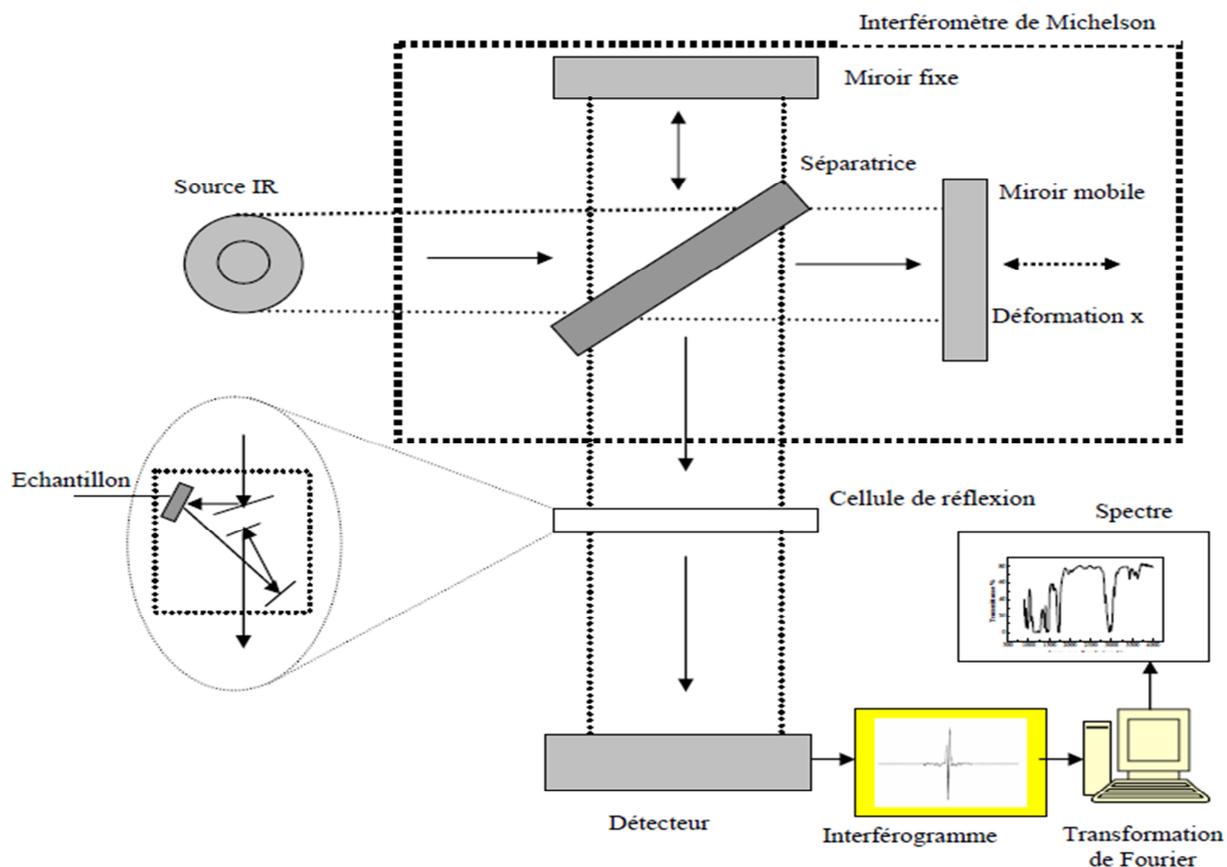


Figure III.7. Principe de base de la spectroscopie IR-FT [20].

Dans notre étude nous avons utilisé le spectromètre JASCO FT/IR-4200 du laboratoire de chimie de l’université Akli Mohand Oulhadj Bouira (AMO) (figure III.8).



Figure.III.8.Spectroscopie infrarouge JASCO FT/IR-4200[22]

III.4.3. Résultat d'analyse et interprétation

Afin d'identifier les différentes modifications dans la structure du copolymère après différents dopages, une spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) est menée à l'aide d'un appareil de type JASCO FT/IR-4200 sur l'échantillon de PMMA et les autres échantillons de copolymère SAN/PMMA. L'enregistrement est effectué dans la région spectrale située entre 4000 cm^{-1} et 500 cm^{-1} . Cette analyse nous donne les transformations chimiques subies par le copolymère (figure III.9).

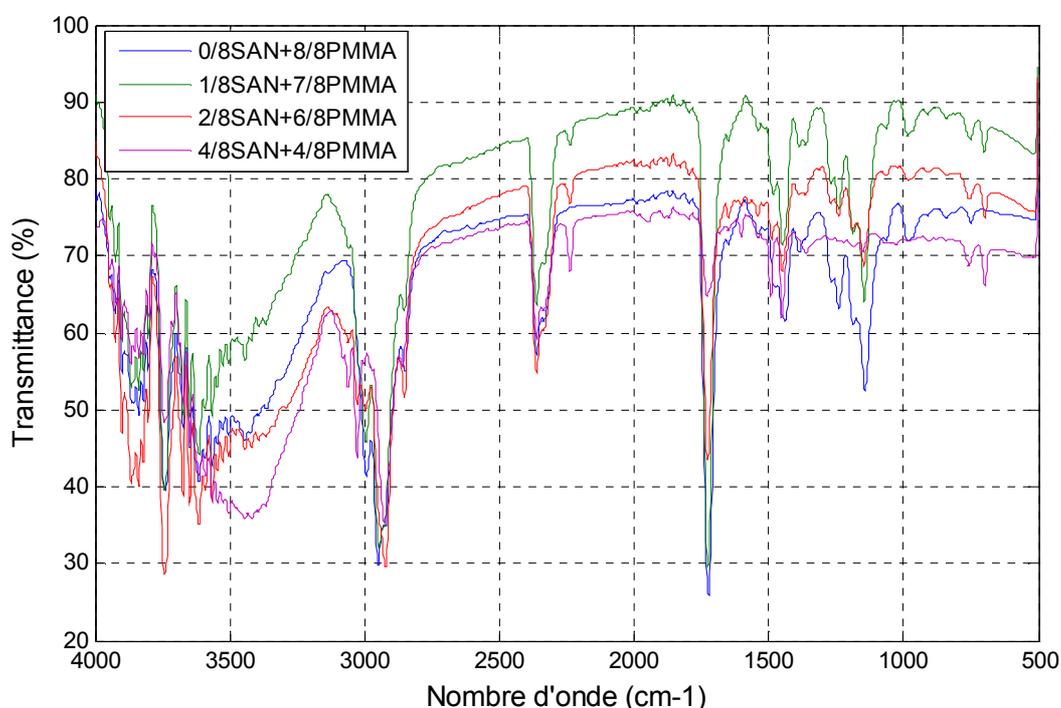


Figure.III.9. Spectres FTIR du copolymère SAN/PMMA pour différents taux de SAN ajoutés.

La figure III.9 montre les spectres des échantillons de copolymère dopés par différents pourcentages de SAN. On constate l'augmentation de la transmission du spectre (12.5%SAN+87.5%PMMA) en comparaison avec le spectre du PMMA et une diminution des deux autres (25%SAN+75%PMM et 50%SAN+50%PMMA).

On remarque aussi la diminution des pics d'absorption aux alentours de 3000 cm^{-1} ainsi dans la bande allant de 1750 à 1000 cm^{-1} , comme résultat de la rupture de quelques liaisons chimiques et donc le réarrangement de la structure chimique du polyméthacrilate de méthyle, ainsi que son influence par le taux de SAN ajouté à sa formule chimique de base.

II.7.Conclusion

Dans ce chapitre nous nous sommes intéressés à l'étude de l'évolution des propriétés diélectriques (permittivité relative et facteur de dissipation) du copolymère SAN/PMMA, en fonction de la fréquence et en fonction du taux de SAN ajouté au PMMA.

En plus des propriétés diélectriques, nous nous sommes intéressés aussi à l'étude des propriétés chimiques de notre copolymère en se servant des analyses FTIR.

Références bibliographiques

- [1] Bouzid Latifa ; “Mémoire modélisation moléculaire des copolymères PMMA-PS” ; Université des sciences et de la technologie d’Oran : mohamed boudiaf ;2011/2012.
- [2] \ memoir pmma\Introduction à la science des matériaux - Les polymères - Propriétés générales -Wikiversité.html
- [3] \memoir pmma\Introduction à la science des matériaux-Les polymères - Propriétés générales - Wikiversité.html
- [4] G.Tardieu ; "Apport des mesures de luminescence à la compréhension du piégeage et du transport dans les isolants synthétiques" ; Thèse de doctorat ; UPS Toulouse ; 2003.
- [5] Moudoud Mustapha ; “étude de la conduction électrique dans les polymères isolants” Thèse de doctorat ; Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou ; 2010.
- [6] P. Robert ;
"Matériaux de l'électrotechnique Volume II"
Ed. Presses Polytechniques Romandes.
- [7]. Berthelot J-M.; “Matériaux composites” ; Editions Eyrolles ; 2010.
- [8] Chretien G.; “ Matériaux composites à matrice organique” ; Techniques et documentations , Lavoisier ;1986.
- [9] Berbain F., Chevalier A.; “ Mise en oeuvre des plastiques renforcés” ; Technique de l'ingénieur, traité A 9 III, article 3250.
- [10] Boudenne A.; “Etude expérimentale et théorique des propriétés thermophysiques des matériaux composites à matrice polymère” ; Université PARIS XII ; 2003.
- [11] Berthelot J. M.; “Matériaux composites « comportement mécanique et analyse des Structures” ; édition TEC et DOC ; 1999.
- [12] Behlouli N.; “Les matériaux composites” ; cours des matériaux composites, Université de Strasbourg ; France.
- [13] Cugnoni J.; “ Identification par recalage modal et fréquentiel des propriétés constitutives de coques en matériaux composites” ; Thèse de....; Ecole Polytechnique fédérale de Lausanne ,Suisse ; 2005.
- [14] : <https://www.flickr.com/photos/28451803@N00/2414135327>
- [15] http://pegase.ens-lyon.fr/activite.php?rubrique=1&id_theme=7&id_activite=8
- [16] <http://www.cvm.qc.ca/geoffrio/index/materiau/cours13/cours13.html>
- [17] http://www.ssicomposites.com/processes_vb.html

Références bibliographiques

[18] <http://www.netcomposites.com/guide/pultrusion/55>

[19] N. Kireche, M.A. Handala, E. Belhiteche, F. Zeboudj, H. Goudjil ; “Caractérisation physico-chimique du copolymère SAN/PMMA soumis à une décharge corona” ; CNHT2013

[20] S.Zelmat ; "Etude des propriétés électriques d'un matériau polyimide à haute température : Application à la passivation des composants de puissance en carbone de silicium. " Thèse de doctorat UPS Toulouse 2006.

[21] S.Degallaix et B.Ilschner "Caractérisation expérimentale des matériaux I : Propriétés physiques, thermiques et mécaniques".Ed. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes 2007.

[22] photo prise à laboratoire chimie université Akli Mohand Oulhadj Bouira .

[23]<https://www.thermofisher.com/fr/fr/home/industrial/spectroscopy-elemental-isotope-analysis/spectroscopy-elemental-isotope-analysis-learning-center/molecular-spectroscopy-information/ftir-information/ftir-sample-handling-techniques/ftir-sample-handling-techniques-attenuated-total-reflection-atr.html>]

[24] M. Belhiteche El Hadi, « Etude de la dégradation d'un solide isolant soumis aux décharges électriques de surface », Mémoire de Magister, 2012.

[25]Jean Marie. Berthelot, Matériaux composites « comportement mécanique et analyse des Structures », édition TEC et DOC, 1999.

[26] CARMA « Glossaire des matériaux composites » Actualisation octobre 2006

[27]:La physique- chimie des polymères.

[28] : Microsoft ® Encarta ® 2009. © 1993-2008 Microsoft Corporation.

[29]: O. Belaidi, Thèse de magister, Option : Physique des polymères UABB Tlemcen, 2007

Résumé

Dans ce travail expérimental, nous nous sommes intéressés à l'étude de l'évolution des propriétés diélectriques (permittivité relative et facteur de dissipation) du copolymère SAN/PMMA, en fonction de la fréquence et en fonction des différentes concentrations du SAN à fin de suivre l'influence de cette concentration sur l'amélioration des propriétés de PMMA . En plus des propriétés diélectriques, nous nous sommes intéressés aussi à l'étude des propriétés chimiques de notre copolymère en se servant des analyses FTIR.

الملخص

في هذا العمل التجريبي ، كنا مهتمين بدراسة تطور الخواص العازلة (السماحية النسبية وعامل التبديد) للبوليمر المشترك SAN / PMMA ، كدالة للتردد وكدالة للتركيزات المختلفة لشبكة SAN عند نهاية مراقبة تأثير هذا التركيز على تحسين خصائص PMMA .بالإضافة إلى الخصائص العازلة للكهرباء ، كنا مهتمين أيضًا بدراسة الخصائص الكيميائية للبوليمر المشترك الخاص بنا باستخدام تحليلات FTIR.

Abstract

In this experimental work, we were interested in the study of the evolution of the dielectric properties (relative permittivity and dissipation factor) of the SAN / PMMA copolymer, as a function of the frequency and as a function of the different concentrations of the SAN at the end of monitor the influence of this concentration on improving the properties of PMMA. In addition to the dielectric properties, we were also interested in studying the chemical properties of our copolymer using FTIR analyzes.