

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



Université A. MIRA – BEJAIA  
Faculté de Technologie  
Département de Génie des Procédés



**Mémoire**

Présenté par : **Mlle KACI Ouardia**

En vue de l'obtention du diplôme de

**Master**

En Génie des Procédés

Option : Génie des procédés de l'environnement

**Thème**

**Effet de la charge ( $\text{CaCO}_3$ ) sur les propriétés du polystyrène (PS)**

**Devant le jury composé de :**

President HADDAD Said  
Examinatrice BELLACHE Dihya  
Promoteur MOUSSACEB Karim  
Co-Promotrice BOURICHE Sihem

U.A/Mira Bejaia.  
U. Bouira.  
U.A/Mira Bejaia.  
U.A/ Mira Bejaia.

**2020-2021**

## REMERCIEMENTS

*Ce travail a été réalisé au sein de l'entreprise ALL PLAST, l'université A. Mira Bejaia et l'université Ferhat Abbas Sétif.*

*Tout d'abord, nous tenons à remercier Allah le tout puissant de nous avoir accordé santé et courage pour accomplir ce travail.*

*Je remercie chaleureusement mon promoteur Pr. **MOUSSACEB Karim** pour le grand honneur d'avoir accepté l'encadrement de ce travail.*

*Je remercie aussi Co-encadreur **BOURICHE Sihem** et **MOULOUD Aicha**, doctorantes à l'université A.Mira Bejaia laboratoire LMO pour leurs conseils et confiance qui ont été une grande source d'appui, de motivation et d'encouragement pour mener à bien ce travail.*

*Je tiens à remercier vivement mon maître de stage, **Mr .BENAOUDIA Fares**, responsable du service contrôle de qualité au sein de l'entreprise ALL PALAST, pour son accueil, le temps alloué à mon stage et le partage de son expertise au quotidien. Grâce aussi à sa confiance j'ai pu accomplir totalement mes missions. Il fut d'une aide précieuse dans les moments les plus délicats.*

*Je remercie également tout les travailleurs de l'entreprise ALL PLAST pour leurs encouragements continus et leurs aides précieuses.*

## DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail à mes chers parents qui m'ont aidé, soutenu, encouragé et Conseillé. Ils ont toujours été ma source d'inspiration.*

*À mes chères sœurs Safia et Tiziri, à mes chers frères, Chaban, Hamouda, zoubire et Louanas*

*Mes chers neveux, Rayan, Zaid, ma chère nièce, Rima,*

*A mes chers ami(e)s et la promotion de génie de l'environnement –de Génie des procédés.*

*A mes copines Lina et Hana*

*À toute la famille Kaci.*

*O. Kaci.*

## Liste des figures

Figure I.1: (a) une représentation schématique des structures mer et chaîne. (b) une perspective de la molécule, indiquant la structure du squelette en zigzag .....	3
Figure I.2 : Chaînes d'un polymère greffées à une chaîne d'un homopolymère .....	5
I.3:représente les températures caractéristiques d'un seul de même matériau .....	7
Figure I.4 : Polymérisation de polystyrène .....	8
Figure I.5 : Polystyrène cristal .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure I.6 : polystyrène choc.....	10
Figure I.7 : Structure polystyrène .....	10
Figure I.8 : Vase de yogourt .....	11
Figure I.9 : Evolution du module d'élasticité en fonction du taux de charges minérales .....	12
Figure I.10 : Classification des nano composites selon la géométrie du renfort .....	14
Figure I.11 : Représentation des trois états morphologiques d'un nano-composite chargé montmorillonite .....	16
Figure II.1 : Présentation des matériaux utilisés .....	21
Figure II.2 : l'extrudeuse DSM XploreNetherlands .....	22
Figure II.3 : A) Une presse hydraulique de marque CAVER INC, B) L'étuvage de marque BINDIRE .....	24
Figure II.4 : Plaques de mélanges choc / cristal.....	24
Figure II.5 : Spectromètre à transformée de Fourier de marque Affinity-1 SHIMADZU .....	25
Figure II.6 : Machine de la traction zwick/Rolle .....	26
Figure II.7 : Un dessiccateur en marque OHAU.....	27
Figure II.8 : Machine de la fluidimètre MFLOW/ZWICK.....	27
Figure II.9 : Densité-mètre de marque KERN .....	28
Figure III.1: Spectre IR des mélanges sans charge entre 400 et 4000 $\text{cm}^{-1}$ .....	30
Figure III.2: Spectre IR des mélanges avec charge entre 400 et 4000 $\text{cm}^{-1}$ .....	32
Figure III.3 : Spectre IR des mélanges avec charge et sont charge entre 400 et 4000 $\text{cm}^{-1}$ .....	34
Figure III.4 : Superposition des courbe sans charge contrainte-allongement.....	35
Figure III.5 : Superposition des courbe avec charge contrainte-allongement .....	36
Figure III.6 : Superposition des courba contrainte-allongement.....	36
Figure III.7 : La fluidité des enchantions sans charge .....	38
Figure III.8 : La fluidité des enchantions avec charge .....	39
Figure III.9 : La fluidité des enchantions sans et avec charge .....	40

## Liste des tableaux

Tableau I.1 : Températures maximales d'utilisation, Températures de transition vitreuses de quelques polymères .....	6
Tableau I.2 : Présente les propriétés de polystyrène .....	8
Tableau II.1 : Caractéristiques de polystyrène cristal et choc et charge.....	21
Tableau II.2 : Notation et Composition adoptée pour chaque formulation .....	23
Tableau III.1 : les spectres infrarouges des mélanges sans charges .....	30
Tableau III.2 : les spectres infrarouges des mélanges avec charges .....	32
Tableau III.3 : Propriétés mécaniques des mélanges sans et avec charge .....	37
Tableau III.4 : Evolution de la fluidité des mélanges sans charge .....	38
Tableau III.5: Evaluation de la fluidité des mélanges avec charge .....	38
Tableau III.6 : Résultats de la densité des mélanges sans charge .....	40
Tableau III.7 : Résultats de la densité des mélanges avec charge .....	41

# Table de matière

REMERCIEMENTS.....	i
DEDICACE.....	ii
Liste des figures .....	iii
Liste des tableaux.....	iv
Liste des abréviations .....	vii
INTRODUCTION GENERALE .....	1
CHAPITRE I : GENERALITES.....	2
I APERÇU SUR LES POLYMERES .....	2
I.1 FORMATION DES POLYMERES.....	2
I.2 CLASSIFICATION DES POLYMERES .....	3
I.2.1 Type de polymères selon le comportement avec la température .....	3
I.2.2 Type de polymère selon les unités .....	4
I.2.3 Classification selon l'origine .....	5
I.3 DOMAINE D'APPLICATION DES POLYMERES.....	6
I.4 PROPRIETES DES POLYMERES .....	6
I.4.1 Propriétés mécaniques .....	6
I.4.2 Propriétés physiques des polymères .....	7
I.4.3 Propriétés thermiques .....	7
I.5 DEFINITION DE POLYMERES UTILISES (POLYSTYRENE).....	7
I.5.1 Historique.....	7
I.5.2 Définition du polystyrène.....	8
I.5.3 Propriétés de polystyrène.....	8
I.5.4 Différents type de polystyrène.....	9
I.5.5 Application du polystyrène .....	10
I.6 LES CHARGES.....	11
I.7 OBJECTIF D'INCORPORATION D'UNE NANO-CHARGE DANS UN POLYMERE.....	11
I.8 LES COMPOSITES .....	13
I.9 CLASSIFICATION DES NANO COMPOSITES (SUIVANT LA FORME DE NANOCHARGES) .....	13
I.9.1 Nano-charges à une dimension nanométrique (feuillet) .....	14
I.9.2 Nano-charges à deux dimensions nanométriques (nano-fibres) .....	14
I.9.3 Nano-charges à trois dimensions nanométriques (nanoparticules).....	14
I.10 MORPHOLOGIE NANO COMPOSITE .....	15
CHAPITRE II : MATERIELLES ET METHODES.....	18

II	INTRODUCTION.....	18
II.1	PRESENTATION DE L'ENTREPRISE ALL PLAST .....	18
II.1.1	La Production de la feuille polystyrène et polypropylène .....	18
II.1.2	La Production de la barquette en polypropylène .....	18
II.1.3	Production de la barquette en polystyrène pour biscuits.....	19
II.1.4	Processus interne de recyclage .....	19
II.1.5	Unité de la production .....	19
II.1.6	Présentations d'atelier.....	19
II.1.7	Les différentes machines d'ALL PLAST .....	20
II.2	MATERIAUX UTILISES.....	20
II.2.1	Polystyrène.....	20
II.3	PROCEDURES EXPERIMENTALES .....	21
II.3.1	L'extrusion.....	21
II.4	LES PRINCIPALES TECHNIQUES DE CARACTERISATION.....	24
II.4.1	Spectroscopie infrarouge (IRTF).....	25
II.4.2	Test de traction.....	25
II.4.3	Test de fluidité .....	26
II.4.1	La densité .....	27
	CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS .....	29
III	INTRODUCTION.....	29
III.1	ANALYSE SPECTROPHOTOMETRIE IRTF .....	29
III.1.1	MELANGES SANS CHARGE.....	29
III.1.2	Mélangés avec charge.....	31
III.2	TEST DE TRACTION .....	34
III.2.1	Les mélanges sans charge / PS choc- PS cristal .....	34
III.2.2	Mélanges PS choc/PS cristal avec charge CaCO <sub>3</sub> .....	35
III.3	TESTS DE FLUIDITE.....	37
III.3.1	Mélanges sans charge.....	37
III.3.2	Mélanges avec charge.....	38
III.4	DETERMINATION DE LA DENSITE .....	40
III.4.1	Mélanges sans charge .....	40
III.4.2	Mélanges avec charge.....	40
	CONCLUSION GENERALE.....	42
	BIBLIOGRAPHIE	

## Liste des abréviations

**ARAMM** : l'Agence Rhône-Alpes pour la Maîtrise des Matériaux.

**F<sub>e</sub>** : Force maximum élastique

**F<sub>R</sub>** : Résistance à la rupture

**GFP** : Protéine fluorescente verte issue de la méduse *Aequorea victoria*; Green Fluorescent Protein

**IR** : Infra-Rouge

**IRTF** : Infra-Rouge à Transformée de Fourier

**ISO** : Organisation Internationale de Normalisation; International Organization for Standardization.

**MFR** : Indice de Fluidité à chaud en masse

**PA** : Polyamide

**PAN** : Polyacrylonitrile

**PC** : Polycarbonate

**PCL** : Polycaprolactone

**PE** : Polyéthylène

**PMMA** : Polyméthacrylate de méthyle

**PP** : Polypropylène

**PS** : Polystyrène

**PSE** : Polystyrène expansé

**PTFE** : Polytétrafluoroéthylène.

**PVC** : Polychlorure de vinyle

**SABIC** : Entreprise saoudienne qui est l'une des dix premières mondiales de la chimie; Saudi Basic Industries Corporation

**T<sub>g</sub>** : Température de transition vitreuse

**V2P** : Virtuel à physique; Virtual-To-physical



**INTRODUCTION  
GENERALE**

# ***INTRODUCTION GENERALE***

---

## **INTRODUCTION GENERALE**

Les polymères sont devenus des éléments essentiels d'un nombre très important d'objets de la vie courante, dans lesquels ils ont souvent remplacé les substances naturelles. Ils sont présents dans de nombreux domaines industriels [1].

L'idée d'associer des composants différents pour l'élaboration de nouveaux matériaux à propriétés améliorées n'est pas nouvelle. En effet, les besoins de plus en plus pressants et grandissants en matériaux plus performants ont contraint l'homme à la recherche continue de combinaisons intéressantes renfermant des constituants aux propriétés complémentaires, qui associés, engendrent des caractéristiques attrayantes et indispensables. Ces matériaux, désignés par le vocable composites, constituent actuellement une classe des plus privilégiés aussi bien du point de vue applications industrielles que de celui des recherches académiques et scientifiques [1].

Dans le domaine des polymères, les recherches se sont accentuées sur le développement de composites par l'adjonction de nombreux types de renfort, à aspect fibrillaire ou particulaire, synthétique ou naturel, organique ou minéral [1].

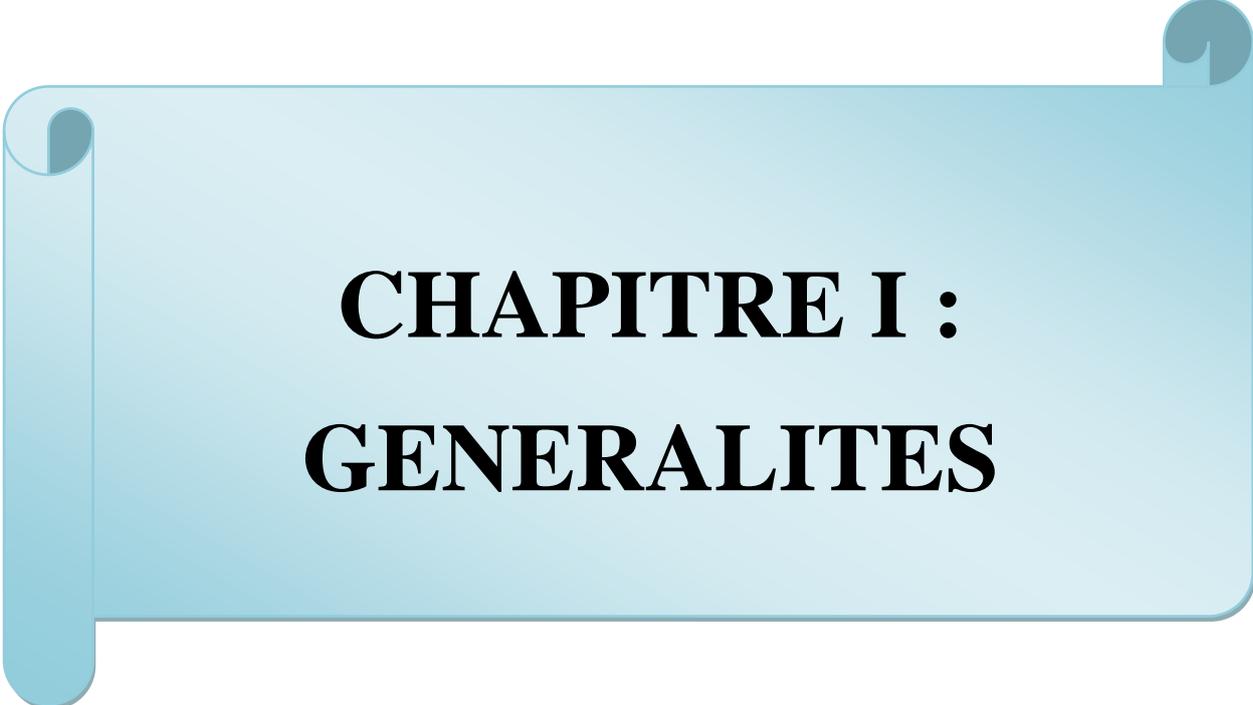
Ce travail a pour but de synthétiser un composite à base de Carbonate de Calcium/Polystyrène avec l'incorporation de bicarbonate de calcium comme charge. Différentes analyses ont été réalisées, tels que : spectroscopie infrarouge à transformé de Fourier IRTF, traction, fluidité et densité.

C'est dans ce contexte que se situe le travail en cours. Ce dernier vise à développer les propriétés du polystyrène utilisé à l'unité All Plast, qui représente une classe de polymères de dernière génération.

Le manuscrit s'organise sous forme de trois chapitres :

- Le premier chapitre, couvre les aspects théoriques nécessaires à la bonne compréhension de ces matériaux et traite les facteurs clés de l'élaboration de polystyrène et les techniques utilisées.
- Le deuxième chapitre, regroupe l'ensemble des matériaux et protocoles mis en œuvre pour la mise en place de la démarche expérimentale envisagée.
- Le dernier chapitre, présente les résultats obtenus avec leur discussion.

Le mémoire se termine par une conclusion générale.



**CHAPITRE I :**  
**GENERALITES**

**CHAPITRE I : GENERALITES**

**I APERÇUE SUR LES POLYMERES**

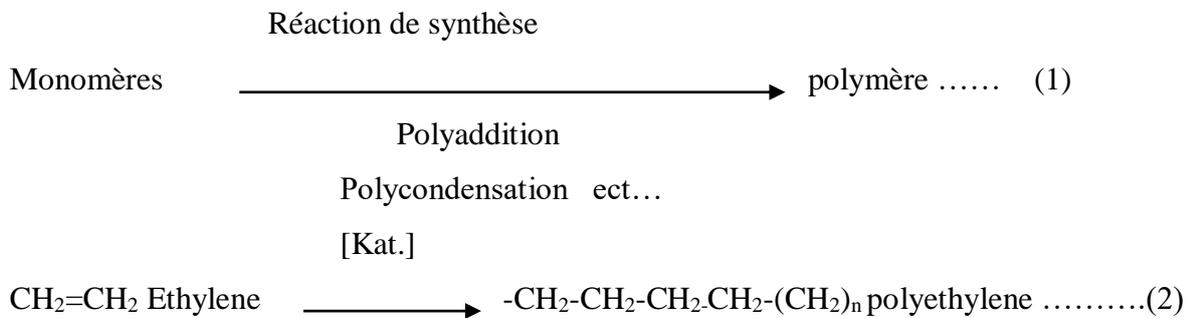
Le terme polymère désigne une molécule de masse moléculaire élevée généralement organique ou semi-organique. Une macromolécule constituée d'un enchaînement de grand nombre d'unités de répétition et d'un ou de plusieurs monomères, unis les uns aux autres par des liaisons covalentes.

Les matériaux thermoplastiques, thermodurcissables et élastomères comptent également parmi les polymères. Et les matrices polymères sont beaucoup utilisées dans les matériaux composites.

Les fibres organiques (aramides) sont constituées de polymères linéaires et les fibres de carbone. Certaines fibres de carbure de silicium sont fabriquées à partir de précurseurs organiques [2].

**I.1 FORMATION DES POLYMERES**

Le schéma suivant représente le mécanisme de polyaddition et polycondensation de monomères et les réactions (1) et (2) données leurs mécanismes et la figure (I.1) données un schématique des structures mer et chaîne et une perspective de la molécule. [3]



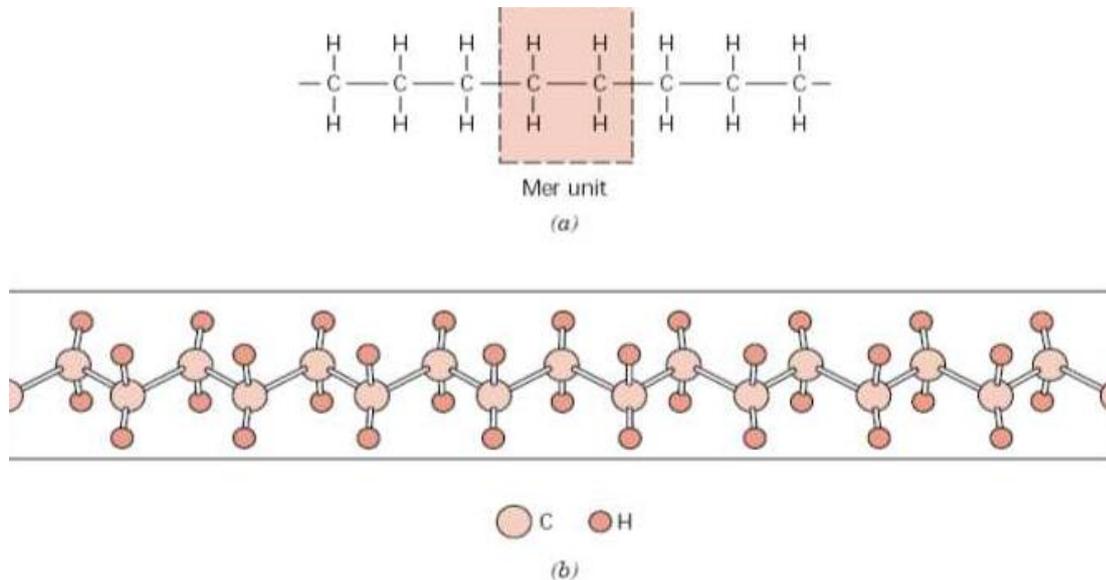


Figure I.1: (a) une représentation schématique des structures mer et chaîne. (b) une perspective de la molécule, indiquant la structure du squelette en zigzag

## I.2 CLASSIFICATION DES POLYMERES

### I.2.1 Type de polymères selon le comportement avec la température

#### I.2.1.1 Polymères thermoplastiques

Ils sont constitués de chaînes indépendantes : la cohésion entre macromolécules est assurée uniquement par les liaisons faibles, qui se dissocient au passage de la température de transition vitreuse, permettant un mouvement relatif des chaînes et un comportement visqueux à chaud. Les thermoplastiques sont le plus souvent obtenus par polyaddition [3].

Un chauffage progressif provoque la fusion du polymère ou sa transformation en un fluide visqueux qu'il est possible d'injecter dans un moule, ou bien de faire passer à travers une filière ou entre les cylindres d'une calandre. Après refroidissement, le polymère, à la forme voulue, retrouve son état solide initial, soit amorphe (PVC, PS, PE, PMMA, PAN, PTFE, ... etc.), soit partiellement cristallin, la cristallinité étant liée à la régularité de la structure ordonnée et aussi à la mobilité des groupes d'atomes constituant les chaînes macromoléculaires [4].

#### I.2.1.2 Polymères thermodurcissables

Leurs chaînes sont fortement réticulées par des liaisons covalentes dans les trois directions de l'espace : ces liaisons résistent à l'agitation thermique jusqu'à la température de pyrolyse ou de combustion. Ces polymères ne présentent donc ni transition vitreuse marquée, ni fusion [5].

### I.2.1.3 Élastomères entrant dans la composition de plastiques

Les élastomères constituent une famille particulière de « hauts polymères » et se distinguent des plastiques (quelquefois appelés plastomères) par des comportements différents du point de vue, en particulier, de leur rigidité, de leur déformabilité et de leur résilience. Contrairement aux plastiques, les élastomères ont une température de transition vitreuse inférieure à la température ambiante [4].

## I.2.2 Type de polymère selon les unités

### I.2.2.1 Homopolymères

Le nom d'un polymère est généralement constitué du préfixe poly suivi du nom chimique : — soit du monomère dans le cas où le polymère résulte d'une simple polymérisation — soit du motif structural unitaire du polymère lorsque ce dernier résulte de la polyaddition ou de la polycondensation de plusieurs monomères [4].

### I.2.2.2 Copolymères

Les noms des copolymères sont constitués du préfixe poly, suivi, entre parenthèses, des noms chimiques des monomères donnés dans l'ordre décroissant des fractions massiques ou molaires de ces composants dans le copolymère, chaque monomère étant séparé des autres par une barre oblique [4].

On distingue les familles suivantes :

#### ➤ Les copolymères statistiques

Les unités constitutives A et B se répartissent le long de la chaîne en suivant une statistique. Les copolymères complètement désordonnés font partie de cette famille. Dans ce cas particulier, les unités constitutives sont réparties de façon aléatoire [6].

Exemple :



#### ➤ Les copolymères alternés

Les unités constitutives A et B sont disposées en alternance le long de la chaîne.



Les copolymères statistiques et alternés ont des propriétés intermédiaires entre celles de deux homopolymères  $[A]_n$  et  $[B]_m$  formés à partir des deux monomères différents

#### ➤ Les copolymères séquencés linéaires ou copolymères à bloc

Ce sont des molécules où chaque unité constitutive est répétée plusieurs fois de suite (block) pour former de longues séquences [6]. Exemple :

- Copolymère [AB] « dibloc »:



- Copolymère [ABA] « tribloc » :



➤ **Les copolymères séquencés et greffés**

L'exemple le plus simple est celui d'une chaîne d'un homopolymère principal sur lequel des chaînes secondaires d'un autre polymère sont greffées comme le montre la figure I.2. [6].

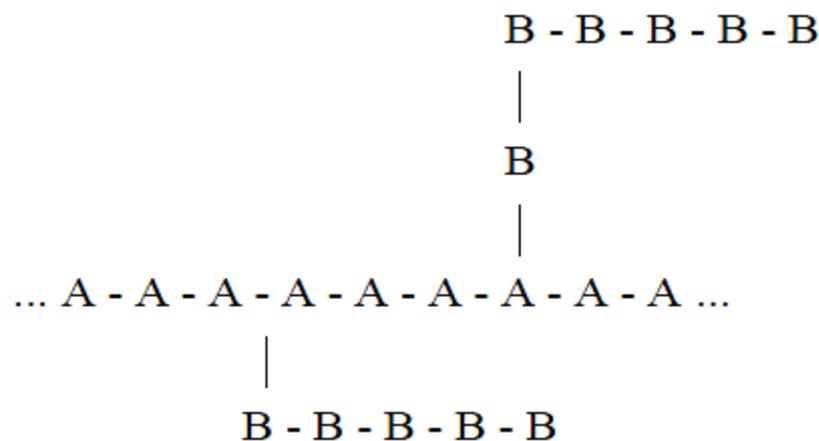


Figure I.2 : Chaines d'un polymère greffées à une chaîne d'un homopolymère

**I.2.3 Classification selon l'origine**

**I.2.3.1 Polymères naturels**

Sont obtenus à partir de sources végétales ou animales. A cette catégorie, appartiennent toutes les familles de polysaccharides (cellulose, amidon, etc.), des protéines (laine, soie, etc.), le caoutchouc naturel, ... etc.

**I.2.3.2 Polymères artificiels (ou régénérés)**

Bien que le constituant de base soit d'origine naturelle, ils résultent d'une transformation chimique des fonctions portées par les unités monomères. Par exemple, les dérivés cellulosiques dont la molécule de base est la cellulose.

**I.2.3.3 Polymères synthétiques**

Les molécules monomères qui permettent de les obtenir n'existent pas dans la nature. Cependant, on peut remarquer que les structures réalisées par la synthèse sont souvent proches de celles des polymères naturels.

**I.3 DOMAINE D'APPLICATION DES POLYMERES**

Les polymères sont à la base de plusieurs matériaux et sont utilisés dans différents domaines, tels que : fibres textiles naturelles et synthétiques, mousses isolantes, colles, vêtements, vaisselle, emballage alimentaire (bouteille), industrielles (flacons de détergents, sachets,...etc.) et industrie chimique (tuyauteries, cuves,...etc.) [7].

**I.4 PROPRIETES DES POLYMERES**

Les matériaux organiques ne comportant que des liaisons covalentes et des liaisons faibles entre atomes non-métalliques, aucun électron ne sera disponible dans la bande de conduction. Et ces matériaux sont en général intrinsèquement des isolants électriques et thermiques. Le tableau I.1 au ci-dessous donne un aperçu des températures limites d'utilisation de longue durée permettant d'éviter un fluage trop prononcé, et des températures de pyrolyse de quelques polymères. La température de demi-vie est définie comme celle qui correspond à une perte de poids de 50 % au bout de 30 min. de pyrolyse [5].

**Tableau I.1 : Températures maximales d'utilisation, Températures de transition vitreuses de quelques polymères [6]**

Type de polymères	PP	PE	PS	PMMA	PVC	PAN	PTFE	Polyimides
Température maximale d'utilisation pendant 20000 h (°C)	100	60	70	85	70	80	25	210
Température de transition vitreuse (°C)	-30	-100	90	120	90	100	25	200
Température de fusion (°C)	175	130	-	225	160	140	330	-

**I.4.1 Propriétés mécaniques**

Le succès des polymères est dû en partie de la facilité avec laquelle on peut leur donner des formes voulues (d'autant plus à l'état fondu). Ils sont très malléables, très plastiques, d'où leur nom en fait cette plasticité varie dans une large gamme, des plus rigides, durs et cassants, aux plus mous ou élastique.

Les propriétés mécaniques décrivent leurs comportements vis-à-vis des sollicitations mécaniques, telles que pressions, étirements, torsions, chocs.

D'autres, les élastomères seront recherchés pour leur élasticité qui leur confère une excellente capacité d'absorption des chocs, on les emploie dans les pneus, les semelles de chaussures, les matelas, les fibres de textiles, élasthanne (polyuréthane).

Thermoplastiques et thermodurcissables sont soumis au phénomène de vitrification, ou transition vitreuse, ils deviennent durs et cassants comme du verre. Au-dessus, ils sont souples, plus plastiques. A l'extrême, ils deviennent élastiques [8].

**I.4.2 Propriétés physiques des polymères**

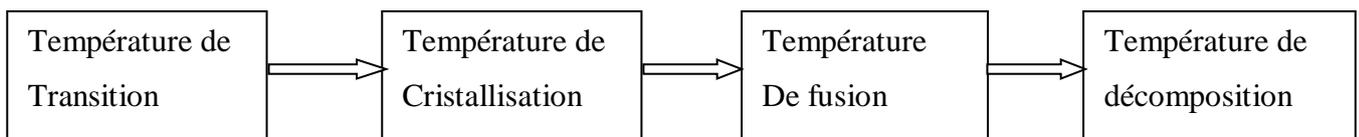
Avant tout, rappelons qu'il existe une grande variété de matières plastiques, tout comme il existe un grand nombre d'alliages métalliques, une des caractéristiques physiques générales des polymères est :

**Masse volumique** : La masse volumique des matières plastiques est peu élevée. La légèreté des polymères est sans aucun doute une des qualités qui a le plus largement contribué à leur diffusion. En ce qui concerne le rapport (résistance à la traction / masse volumique), certains polymères sont en fait supérieurs bien à des matériaux métalliques. La faible masse volumique des plastiques est due au faible poids atomique des principaux atomes de leurs chaînes (principalement l'hydrogène et le carbone) [9].

**I.4.3 Propriétés thermiques**

La température de transition vitreuse "Tg" et la température de fusion "Tf" sont les deux températures fondamentales nécessaires dans l'étude des matériaux polymères.

La température de transition vitreuse est partiellement importante pour les polymères amorphes, notamment les thermoplastiques amorphes, pour lesquels, il n'existe aucune force de cohésion importante autre que l'enchevêtrement [9]. Les températures caractéristiques d'un seul de même matériau peuvent alors être classées de la façon suivante :



**I.3:représente les températures caractéristiques d'un seul de même matériau**

**I.5 DEFINITION DE POLYMERES UTILISES (POLYSTYRENE)**

**I.5.1 Historique**

Le polystyrène a été découvert dès 1839, mais n'a été exploité à grande échelle en Allemagne et aux Etats-Unis qu'à partir des années 1930. Son procédé utilisé fut perfectionné au cours des décennies suivantes. Le polystyrène expansé a été inventé par HASARD en **1944** par **Ray Mc Intire (1919-1996)** un chimiste travaillant pour Dow Chemical. Représente les températures caractéristiques d'un seul de même matériau Il fut commercialisé sous le nom de Styrofoam et utilisé à l'origine comme isolant thermique pour les bâtiments [10].

**I.5.2 Définition du polystyrène**

Le polystyrène (PS) est un polymère dont le monomère (élément moléculaire répété) et le styrène d'un cycle de benzène accroché sur une chaîne (CH-CH<sub>2</sub>) on l'obtient a partir de produit issus du pétrole, solide et dur il peut être mélangé a un gaze pour créer un matériau très légers. À partir d'utilisation d'un solénoïde thermique on peut produire deux type de polystyrène ou acoustique, d'emballage, ou de remplissage faible densité pour obtenir une flottabilité par exemple [11].

**I.5.2.1 Synthèse de polystyrène**

Le polystyrène est issu de la pétrochimie. Le polystyrène est obtenu par polymérisation du styrène. C'est dans un autoclave que la réaction aboutit au polystyrène [12].

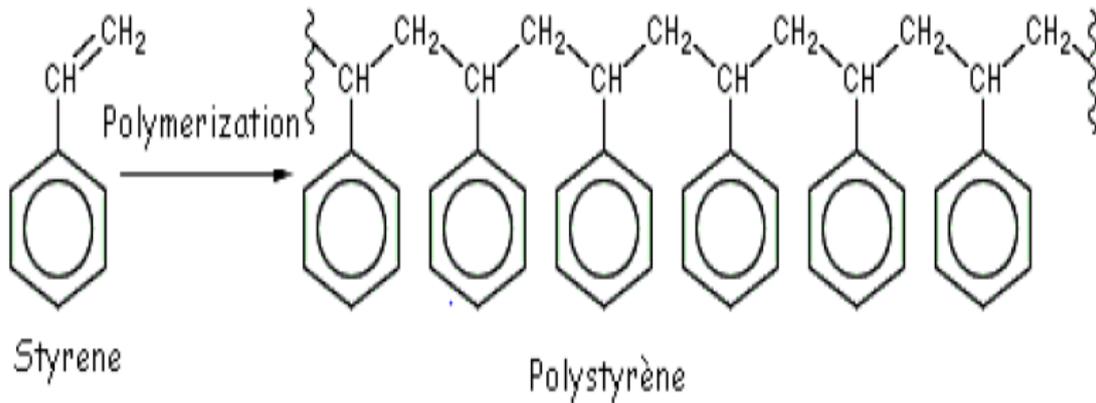


Figure I.4 : Polymérisation de polystyrène [12]

**I.5.3 Propriétés de polystyrène**

Tableau I.2 : Présente les propriétés de polystyrène [10]

Propriétés	Polymère	Polystyrène
Origine		Gaz naturelle ou pirole
Formule brute		(C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> ) <sub>n</sub>
T°transition vitreuse		95°C
T° de fusion		150°C à 170°C
Paramètre de solubilité		18,72MPa <sup>1/2</sup> (35°C)
Masse volumique		1,06g.cm <sup>-3</sup>
Masse molaire		104,15g/mol
Constante diélectrique		2,6 (1KHz, 25°C) 2,6 (1MHz, 25°C) 2,6(1GHz, 25°C)

**I.5.4 Différents type de polystyrène**

- **le polystyrène "Cristal"**

Polystyrène de base son aspect transparent, est une matière dure et cassante, pouvant être colorée. Ses propriétés mécaniques et thermiques peuvent être modifiées par l'ajout de plastifiants ou de butadiène (Monomère du polybutadiène) pour en faire un polystyrène dit « choc » est la figure (I.5) ci-dessus présenté les granulés de cristal [10].



**Figure I.5 : Polystyrène cristal [13]**

- **Le polystyrène "Choc" :**

C'est un copolymère à greffons issu du greffage de polybutadiène au cours de la polymérisation du styrène, il appartient à la famille des « polymères styréniques » est la figure (I.6) Ci-dessus présenté les granulés de choc [10].



Figure I.6 : polystyrène choc [13]

- **Le polystyrène expansé ou PSE :**

Il est obtenu à partir d'un mélange de polystyrène et de gaz, qui donne un matériau léger de couleur blanche. Il est utilisé comme isolant thermique ou phonique. Il s'agit d'un isolant léger, rigide et fermées. Le polystyrène expansé est disponible en plusieurs résistances à la compression pour résister aux charges et aux forces de remblaiement. Cette structure à cellules fermées assure une absorption d'eau minimale et une faible permanence de la vapeur. Illustration ion de la synthèse du Polystyrène ce présenté Ci-dessus dans la figure (I.7)[14].

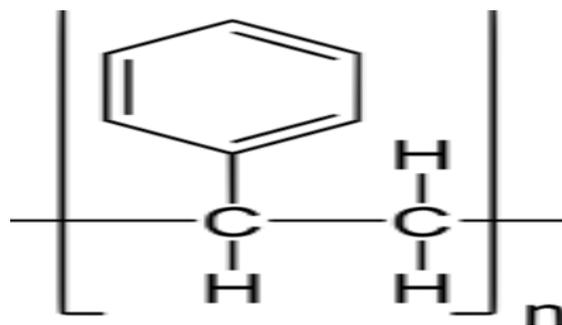


Figure I.7 : Structure polystyrène [14]

### I.5.5 Application du polystyrène

Les principales du polystyrène dans la vie courante sont :

- Les boitiers de CD ;
- Les couverts et verres en plastique ;

- Les emballages alimentaires (comme les pots de yaourt) ;
- Les emballages des appareils fragiles ;
- Isolation thermique des bâtiments sous forme expansée ou extrudée ;
- Protection électroménager et autres produits [10] ;



**Figure I.8 : Vase de yogourt [15]**

## **I.6 LES CHARGES**

On désigne sous le nom général de charge toute substance inerte, minérale ou végétale qui, est ajoutée à un polymère de base, permet de modifier de manière sensible les propriétés mécaniques, électriques ou thermiques, d'améliorer l'aspect de surface ou bien, simplement, de réduire le prix de revient du matériau transformé [16].

On relève :

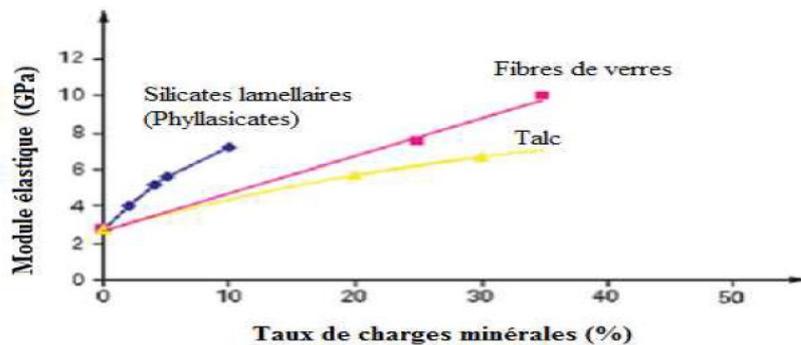
- **Charges d'origines minérales ou poudre :** Carbonate de calcium naturel, silice, talc, argile, noir de carbone ...etc.
- **Charges organiques :** Forme de bois (faible cout) amidon (améliorer la biodégradation). Poudre élastomère (antichoc).
- **Charges métalliques :** Afin de rendre la matrice organique partiellement conductrice (l'ajout de paillettes métalliques : de cuivre, zinc...etc.).
- **Charges renforçant :** Améliorer les caractéristiques mécaniques [16].

## **I.7 OBJECTIF D'INCORPORATION D'UNE NANO-CHARGE DANS UN POLYMERE**

Les propriétés intrinsèques d'un objet (micrométrique ou nanométrique) peuvent permettre de conférer au matériau des propriétés spécifiques telles que magnétiques ou électriques et/ou de modifier ses propriétés thermiques, mécaniques ou optiques. Il existe deux raisons essentielles pour l'introduction d'un objet de dimension nanométrique plutôt qu'un objet de dimension micrométrique :

L'interface polymère/charge est couplée grâce à la taille nanométrique de l'objet par rapport à un objet micrométrique.

Le nano-objet peut se structurer à plusieurs échelles au sein du matériau [17]. L'utilisation des nano charges à la place des charges traditionnelles de taille micrométrique permet d'obtenir des propriétés mécaniques intéressantes à des taux de la charge plus bas comme le montre la figure (I.8), qui résume les résultats d'une étude effectuée sur des nano composites chargés avec différents types de particules en fonction du taux de la charge.



**Figure I.9 : Evolution du module d'élasticité en fonction du taux de charges minérales**

Nous pouvons observer que pour un taux de 10% en poids de nano-charges, le module élastique est équivalent à celui obtenu avec un composite traditionnel comportant 25% en poids de micro charges. Cependant les problèmes d'élaboration de nano-composites avec des taux de charges plus important limitent la possibilité d'atteindre le niveau de renfort équivalent à celui du composite traditionnel [18].

Les nano-composites peuvent pallier à certaines de ces limites et présentent des avantages face aux composites classiques à renforts micrométriques.

Une amélioration significative des propriétés mécaniques notamment de la résistance sans compromettre la ductilité du matériau car la faible taille des particules ne crée pas de larges concentrations de contrainte.

Une augmentation de la conductivité thermique et de diverses propriétés notamment optiques qui ne s'expliquent pas par les approches classiques des mélanges de composants. Les nanoparticules, ayant des dimensions au-dessous des longueurs d'onde de la lumière visible (380-780 nm), permettent au matériau de conserver ses propriétés optiques de départ ainsi qu'un bon état de la surface d'autre part [19].

La diminution de la taille des renforts que l'on insère dans la matrice conduit à une très importante augmentation de la surface de l'interface dans le composite. Or, c'est précisément cette

interface qui contrôle l'interaction entre la matrice et les renforts, expliquant en partie les propriétés singulières des nano-composites.

A noter : que l'ajout de particules nanométriques améliore, de manière notable, certaines propriétés avec des fractions volumiques beaucoup plus faibles que pour les particules micrométriques. On obtient ainsi :

- ✓ À performances égales, un gain de poids important ainsi qu'une diminution des coûts puisque l'on utilise moins de matières premières (sans tenir compte du surcoût des nano-renforts) ;
- ✓ Une meilleure résistance pour des dimensions structurales similaires ;
- ✓ Une augmentation des propriétés de barrière pour une épaisseur donnée [19].

## **I.8 LES COMPOSITES**

Sont formés à partir des mélanges des matériaux de façon à obtenir un produit plus performant bénéficiant des avantages de ses deux ou trois composants. Ainsi, il est possible de mélanger de l'amidon à des poly caprolactone (PCL) pour obtenir des substances aux performances mécanique comparables aux plastiques traditionnels. De même, il est possible de mélanger des fibres naturelles (lin, chanvre) à divers bio polymères pour réaliser des matériaux « armés » pour fabriquer, par exemple, des tableaux de bord de voiture [20].

## **I.9 CLASSIFICATION DES NANO COMPOSITES (SUIVANT LA FORME DE NANOCHARGES)**

En général, il est couramment admis que le classement des nano-composites se fait selon le facteur de forme de la charge incorporée (rapport entre la longueur et l'épaisseur ou le diamètre). Dans la définition admise des nano composites les renforts doivent avoir au moins une de leurs dimensions morphologiques inférieure à 100 nm et peuvent être classés en fonction de leur géométrie (figure I.9). On trouve alors trois classifications qui sont possibles [20].

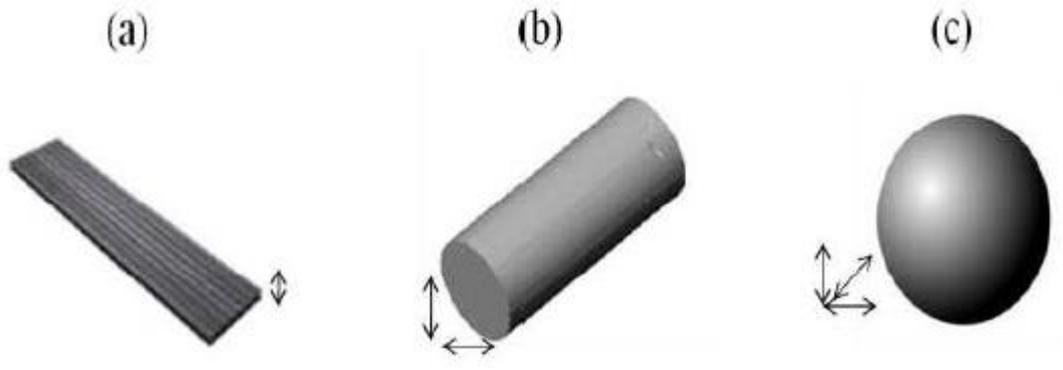


Figure I.10 : Classification des nano composites selon la géométrie du renfort [20].

### I.9.1 Nano-charges à une dimension nanométrique (feuillets)

Possèdent deux directions privilégiées. La particule possède une dimension de l'ordre du nanomètre et les deux autres de l'ordre du micromètre. Parmi ce type de matériaux, les argiles sont probablement les plus connues car elles sont naturelles donc faciles à extraire [18].

### I.9.2 Nano-charges à deux dimensions nanométriques (nano-fibres)

Ce sont des particules ayant deux dimensions de l'ordre du nanomètre. La troisième est beaucoup plus grande. Il existe des fibres creuses, les plus connues étant les nanotubes de carbone qui possède en particulier des propriétés mécaniques et électriques exceptionnelles. Ils peuvent être introduits dans une grande variété de matrices polymères (polyamide PA, Polyester PS, polycarbonate PC....etc.).

La dispersion des nanotubes dans le polymère est essentielle pour obtenir les propriétés désirées. L'ajout de ces derniers dans la matrice peut augmenter la viscosité du polymère mais l'effet est moins prononcé que celui observé avec des fibres conventionnelles [21].

### I.9.3 Nano-charges à trois dimensions nanométriques (nanoparticules)

Les trois dimensions de la particule sont de l'ordre du nanomètre. Il s'agit le plus souvent de particules de forme sphérique dont le diamètre est compris entre 30 et 150nm. Dans cette catégorie on compte, par exemple, les agrégats d'atomes, les nanoparticules métalliques (or, fer, cobalt, argent, platine...etc.) et les fullerènes.

Le gain des propriétés physiques particulières (optiques, électriques, magnétiques...etc.) est recherché lors de l'ajout de ce type de particule [21]. En plus de sa nature, la capacité d'une particule à s'organiser au sein d'une matrice polymère dépend de sa taille et surtout de sa géométrie. Celle-ci

caractérise le facteur de forme qui est défini comme le rapport de la plus grande et la plus petite dimension de la Charge [22].

### **I.10 MORPHOLOGIE NANO COMPOSITE**

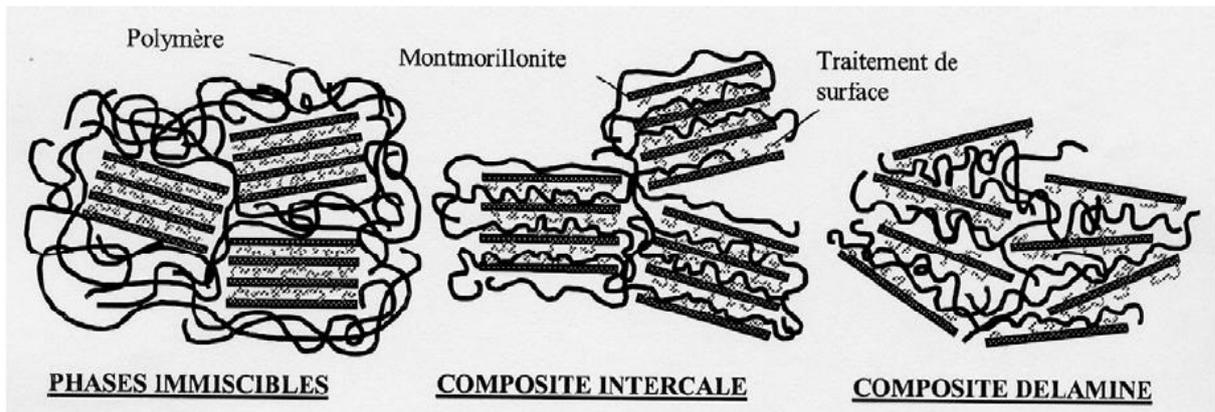
Un atelier de prospective sur les nano composites, organisé par Roland Séguéla et l'équipe des polyméristes de l'INSA-Lyon, sous l'égide du GFP/V2P, du Belgium Polymère Group (BPG), de la Fédération des Polyméristes Lyonnais et de l'Agence Rhône-Alpes pour la maîtrise des Matériaux (ARAMM), a rassemblé plus d'une centaine de personnes à Lyon le 20 et 21 mars 2003. Cet atelier avait pour objectif de faire le point sur la situation des nano composites à matrice polymère et à charges lamellaires, en présentant les récentes avancées dans le domaine et en précisant les enjeux et les problèmes qui se posent encore aujourd'hui au niveau de la recherche et du développement industriel. La dimension nanométrique des charges semble apporter à ces nouveaux matériaux un profil de propriétés spécifiques mais qui n'est pas toujours exploitées de façon optimale. Huit conférences plénières ont porté sur l'élaboration et la mise en œuvre des nano composites, leur caractérisation, la modélisation de leur comportement ainsi que sur leurs propriétés et leurs domaines d'application. Dans une table ronde très animée, industriels et universitaires ont confronté leurs points de vue sur le sujet, et évoqué concrètement les perspectives de développement industriel et le positionnement européen au plan mondial. Enfin, des communications par posters ont enrichi cet atelier par des résultats de recherche récents émanant de diverses équipes actives sur ce thème et participant à l'atelier.

Les points clés de l'élaboration et de la mise en œuvre des nano composites considérés sont constitués d'une dispersion de plaquettes ou lamelles argileuses dans une matrice polymère. La charge la plus utilisée est la montmorillonite, constituée d'un ensemble de feuillets (type « millefeuilles »). Les dimensions des feuillets individuels sont de l'ordre du nanomètre en épaisseur et de plusieurs dizaines de nm en longueur et largeur, ce qui leur confère un coefficient de surface très élevé (de 100 à 1000m<sup>2</sup>/g), et un très fort facteur de forme (longueur/épaisseur >100). Ces caractéristiques ont une influence déterminante sur les propriétés des nano composites.

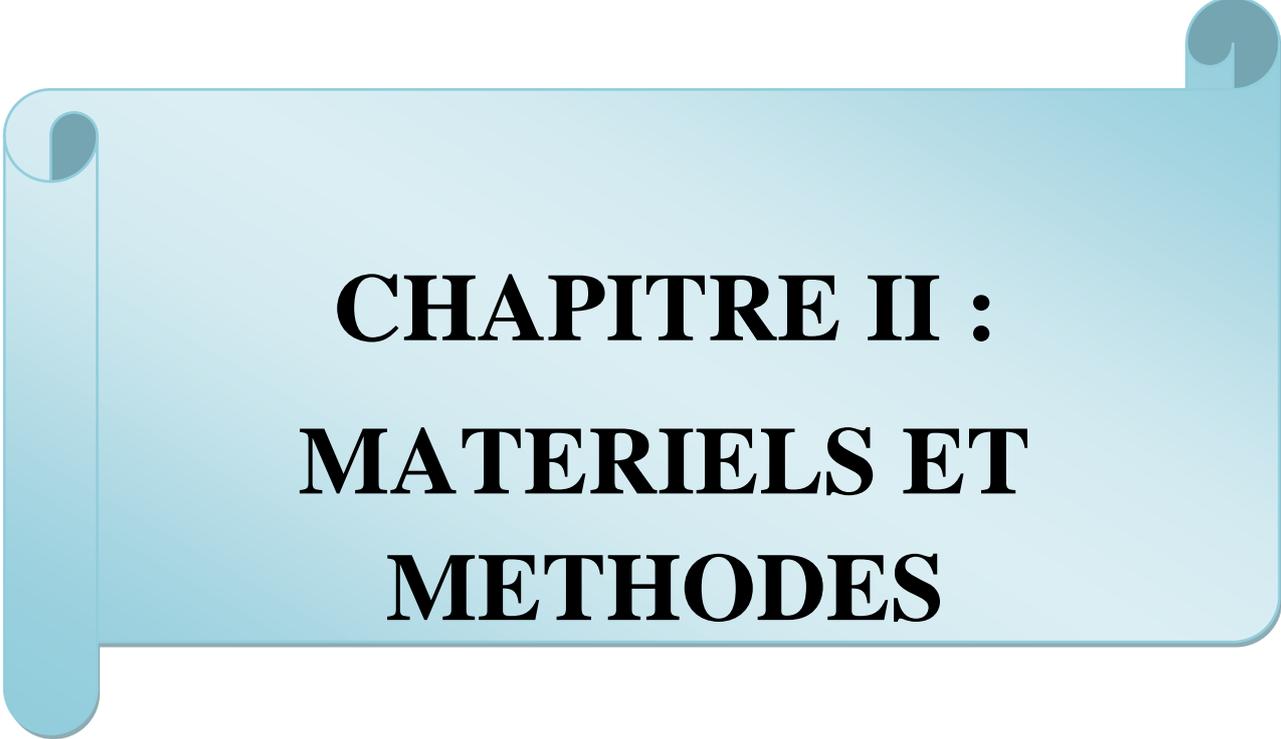
Les principaux enjeux de l'élaboration des nano composites concernent l'exfoliation des charges (la séparation des feuillets individuels), leur dispersion dans la matrice, et enfin la maîtrise de l'interaction charge-polymère. Suivant l'état d'exfoliation et de dispersion dans la matrice, on peut distinguer trois types de structures :

- Une structure non exfoliée, lorsque les feuillets restent agglomérés sous forme de paquets.

- Une structure intercalée, avec des feuillets incomplètement séparés et des liaisons polymères partielles entre feuillets.
- Une structure exfoliée(ou délamée) avec des feuillets individuels bien séparés et correctement dispersés et des liaisons polymère-feuillet fortes.



**Figure I.11 : Représentation des trois états morphologiques d'un nano-composite chargé montmorillonite [23]**



**CHAPITRE II :**  
**MATERIELS ET**  
**METHODES**

**CHAPITRE II : MATERIELLES ET METHODES**

---

**II INTRODUCTION**

Dans ce chapitre, on présentera les matériaux utilisés pour la fabrication des films, les modes d'exposition et les techniques d'analyses utilisées pour étudier les propriétés thermique et mécanique des films de polystyrènes (choc + cristal).

**II.1 PRESENTATION DE L'ENTREPRISE ALL PLAST**

**ALL PLAST** est une entreprise de transformation de plastique destiné à l'emballage des produits laitiers, de margarinerie et de biscuiterie. Elle est implantée dans la zone d'activité de Taharacht à Akbou, Bejaïa et distante de 70 km du chef lieu de la wilaya. Elle est créée en 15 mai 1997. Elle a commencé avec un capital estimé à 40 milliard dinar Algérie (DA). Intitulée de l'activité :

- Transformation de plastique
- Transport de marchandises sur toutes distances

**II.1.1 La Production de la feuille polystyrène et polypropylène**

La transformation de la matière première polystyrène et polypropylène importée sous forme de granulés est introduite par le processus d'alimentation dans la vis de la machine auquel est ajouté un colorant et adjuvant au besoin, soumise à la thermo-fusion est extrudée à travers une filière plate entre et passant par les rouleaux de refroidissement pour obtenir une feuille plastique roulée en bobine. C'est la feuille laitière, ce produit fini est appelé également bande PS. Elle est utilisée principalement comme emballage du yaourt.

Concernant la feuille polypropylène (PP) fabriquée le avec le même procédé, sert à fabriquer les barquettes pour l'emballage de la margarine après avoir subi le processus de thermoformage. La barquette est un kit composé de la boîte et du couvercle.

**II.1.2 La Production de la barquette en polypropylène**

La feuille en polypropylène extrudée chauffée et ramollie ensuite introduite dans la machine de thermoformage, munie d'un moule de formage, passant dans celui-ci et après refroidissement, forme et produit des barquettes et des couvercles séparément. Les boîtes et couvercles constituant le kit de la barquette sont soumises à l'impression offset pour imprimer la composition alimentaires de la margarine, les indications publicitaires et le logos du client propriétaire ou maquettes du client. Le même procédé de fabrication est utilisé pour la production

du couvercle sur une machine munie de moule pour couvercles, pour constituer un kit en fin de cycle.

### **II.1.3 Production de la barquette en polystyrène pour biscuits**

Le même procédé de thermoformage est utilisé également pour la production de la barquette pour biscuits avec une machine et un moule appropriés.

### **II.1.4 Processus interne de recyclage**

Les produits finis ou semi finis déclassés ainsi que les parties de plastique restantes après thermoformage des barquettes et couvercles sont broyées et granulées pour être récupérées et recyclées de nouveau dans le processus de production.

### **II.1.5 Unité de la production**

Les productions d'ALL Plast sont :

- Les bondes de polystyrène PS ;
- Les bondes de polypropylène PP ;
- Les barquettes de MARGARINE ;
- Les bouteilles du yaourt DAN-UP ;

Les matières premières utilisées

- Polystyrène (choc-cristal)
- Polypropylène
- Polyéthylène a haut densité
- Colorants

### **II.1.6 Présentations d'atelier**

L'atelier de l'entreprise Se compose de trois secteurs :

#### **❖ Atelier d'extrusion de polystyrène**

On mélange les matières premières, le choc, le cristal et le colorant dans une machine spéciale (l'extrudeuse). Le matériau obtenu contribue à la répartition des couches, puis ils passent dans un rouleau pour former des feuilles après avoir les refroidir par le refroidisseur ; en fin on les découpe en roulé bobine.

#### **❖ Atelier d'extrusion thermoformage**

Le thermoformage se fait avec des feuilles après chauffage entre deux plateaux horizontaux passés à travers un moule de formage des barquettes ou des couvercles sont produits selon le moule utilisé.

**❖ Atelier d'extrudeuse soufflage**

Un tube extrudé, dit paraison est pincé à l'extrémité par un moule creux en deux parties un se soude sur lui-même et l'autre s'appuie sur une canne de soufflage pour la quelle on admet une pression d'air suffisante pour déformer la paraison chaude qui vient se plaquer sur la paroi interne du moule, puis elle est refroidit par la circulation de l'eau afin de la solidifier et enfin la démouler.

**❖ Broyage des produits non confirmé**

Les déchets apparaissant lors de la production de tubes en plastique mais aussi les rebuts, les coudes, manchons...etc., peuvent être broyés économiquement avec les broyeurs à auge. Selon le produit à traiter et les conditions d'alimentation qui peut se faire à l'horizontal par l'intermédiaire d'une auge implantée au sol avec chariot de poussée intégré.

**II.1.7 Les différentes machines d'ALL PLAST****➤ Extrudeuse soufflage**

Un tube a extrudé, dit paraison est pincé et a extrémité par un moule creux en deux parties: un se soude sur lui-même et l'autre s'appuie sur une canne de soufflage pour la quelle en admet une pression d'air suffisant pour déformer la paraison chaud qui vient ce plaqué sur la paroi interne du moule.

**➤ Le thermoformage**

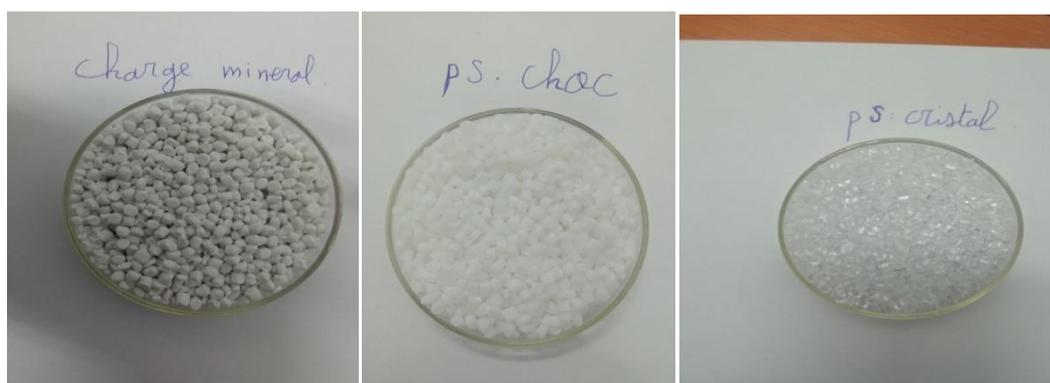
Les techniques de formage sont utilisées très largement dans l'industrie, elles vont de l'estampage, formage des métaux au thermoformage des matières plastique.

**II.2 MATERIAUX UTILISES****II.2.1 Polystyrène**

Le polystyrène (PS cristal + PS choc) utilisé dans ce travail est un monomère de styrène, commercialisé sous la référence **PS 125**, produit par la société SABIC sous forme granulée destinée pour les applications de contact alimentaire. La charge incorporée dans une matrice de polystyrène (choc+cristal), destinée à la charge de matrice de base (PS) pour confectionner des films, dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau (II.1).

**Tableau II.1 : Caractéristiques de polystyrène cristal et choc et charge**

Propriété	PS cristal	PS choc	Charge
Densité à 23°C	1050 Kg/m <sup>3</sup>	1040Kg/m <sup>3</sup>	2040 Kg/m <sup>3</sup>
Indice de fluidité à chaud en masse	9g/10 min	4 g/10min	0.3g/10 min
Température de fusion	200°C	200°C	200°C
Forme	Granulée	Granulée	Granulée
Couleur	Transparent	blanche	blanche



**Figure II.1 : Présentation des matériaux utilisés**

**II.3 PROCEDURES EXPERIMENTALES**

Les techniques de transformation des polymères dépendent de la nature des polymères et de la destination des produits finis. Parmi les méthodes utilisées pour la fabrication des pièces et des objets en polymères citant : le procédé d’injection, d’injection soufflage, d’extrusion, d’extrusion soufflage, thermoformage...etc. Dans notre étude, nous avons utilisé la méthode d’extrusion dans le but de préparer les formulations polymères. La procédure suivie est décrite ci-dessous.

**II.3.1 L’extrusion**

L’extrudeuse utilisée dans cette étude pour la préparation des différentes formulations est une extrudeuse (bi-vis de marque DSM XploreNetherlands) (figure II.2) qui appartient au laboratoire des matériaux organiques (LMO) de l’université de Bejaia. La température de l’extrusion est maintenue à 260°C, avec une vitesse de rotation de 75tr/min et un temps de séjour

de 3 min. Une fois les extrudâtes récupérées, ils sont laissée refroidir à l'air libre, ensuite utilisés dans l'élaboration des films plastiques.



**Figure II.2 : l'extrudeuse DSM XploreNetherlands**

### **II.3.1.1 Préparation des formulations**

Dans notre étude, plusieurs formulations ont été préparées:

- ❖ Des formulations sont préparées avec un mélange de polystyrène choc et polystyrène cristal.
- ❖ Des formulations sont préparées avec un mélange de polystyrène choc, polystyrène cristal et une charge de (CaCO<sub>3</sub>) à 3 %.

La notation adoptée pour les différentes formulations obtenues est résumé dans le tableau II.2.

Tableau II.2 : Notation et Composition adoptée pour chaque formulation

La notation adoptée.	La composition de chaque formulation	La composition de chaque formulation avec charge
<b>Formulation 1</b>	0 % de polystyrène cristal 100 % de polystyrène choc	0 % de polystyrène cristal 100 % de polystyrène choc 3 % de charge de CaCO <sub>3</sub>
<b>Formulation 2</b>	30 % de polystyrène cristal 70 % de polystyrène choc	30 % de polystyrène cristal 70 % de polystyrène choc 3 % de charge de CaCO <sub>3</sub>
<b>Formulation 3</b>	50 % de polystyrène cristal 50 % de polystyrène choc	50 % de polystyrène cristal 50 % de polystyrène choc 3 % de charge de CaCO <sub>3</sub>
<b>Formulation 4</b>	70 % de polystyrène cristal 30 % de polystyrène choc	70 % de polystyrène cristal 30 % de polystyrène choc 3 % de charge de CaCO <sub>3</sub>

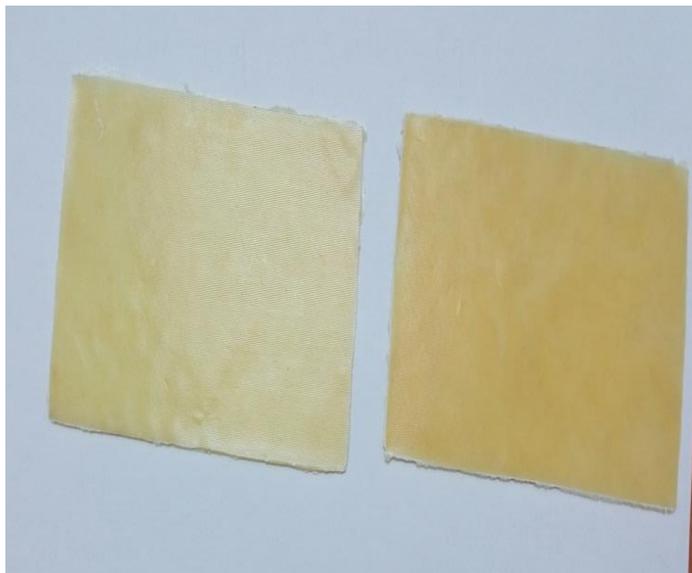
### II.3.1.2 Préparation des films (plaque)

Après l'étuvage des mélanges avec une étuve de marque BINDER (figure II.3 « B ») pendant une heure, dans le but d'éliminer l'humidité, la préparation des films (plaques) a été effectuée à l'université Ferhat Abbas à Sétif et cela avec une presse hydraulique à deux plateaux de marque CAVER INC (figure II.3 « A »). Dans le but de préparer les plaques des composites (choc/cristal et choc/ cristal/ charge), on dispose ces composants entre deux plaques métalliques munies de deux feuilles de téflon pour mettre au dessus les formulations à 260 °C maintenues sous pression pendant 6 minutes en appliquant une force de 0.5 tonne. Après dégazage on applique une force de 10 tonnes pendant 4 minutes.



**Figure II.3 : A) Une presse hydraulique de marque CAVER INC, B) L'étuvage de marque BINDIRE**

Les plaques obtenues sont représentés dans la figure (II.4) suivant:



**Figure II.3 : Plaques de mélanges choc / cristal**

## **II.4 LES PRINCIPALES TECHNIQUES DE CARACTERISATION**

Après avoir préparé les plaques (filmes), plusieurs méthodes de caractérisation ont été utilisées durant cette étude :

- La spectroscopie IRTF ;
- Test de traction ;
- Test fluidité ;
- La densité ;

**II.4.1 Spectroscopie infrarouge (IRTF)**

La spectroscopie infrarouge est une méthode rapide pour caractériser les groupements fonctionnels et les principaux composants de différents échantillons. Cette technique d'analyse consiste à générer un rayonnement infrarouge : lorsqu'une molécule reçoit ce rayonnement à une fréquence de résonance, elle absorbe cette énergie et augmente son amplitude vibratoire. Le rayonnement infrarouge (IR) est un rayonnement électromagnétique de longueur d'onde supérieure à celle du spectre visible mais plus courte que celle des micro-ondes ou du domaine térahertz. Cette gamme de longueur d'onde dans le vide de 700 nm à 0,1 ou 1 mm se divise en infrarouge proche, au sens de proche du spectre visible, de 700 à 2000 nm environ, infrarouge moyen, qui s'étend jusqu'à 20  $\mu\text{m}$ , et infrarouge lointain. Les spectres IRTF, du film, réalisés avant et après contact ont été réalisés sur le spectromètre à transformée de Fourier de la marque Affinity-1 SHIMADZU (Figure II.5), qui a été réalisé par le logiciel IR solution équipé d'un ordinateur qui contrôle par son intermédiaire divers traitements informatiques.



**Figure II.4 : Spectromètre à transformée de Fourier de marque Affinity-1 SHIMADZU**

**II.4.2 Test de traction**

L'appareil utilisé dans notre étude est celui de traction (Zwick /Roell) représenté dans la (figure II.6) le test a été effectué au laboratoire de génie mécanique de l'université Ferhat Abbas Sétif. Cette appareil permet de mesurer l'élasticité de plastique (module de Young) donc définir le pourcentage PS choc/ PS cristal, les propriétés de traction des films d'une épaisseur inférieure à 1 mm. Pour les tôles minces ou les tôles d'une épaisseur supérieure à 1mm pour utiliser cette machine.

**❖ Mode opératoire**

L'éprouvette est allongée le long de son axe principal à une vitesse constante jusqu'à ce que la contrainte (charge ou la déformation (allongement)) ait atteint une valeur prédéterminée, la charge supportée par l'éprouvette et son allongement sont mesurés pendant l'essai.



**Figure II.5 : Machine de la traction zwick/Rolle**

**II.4.3 Test de fluidité**

Après avoir met les échantillons dans un dessiccateur de marque OHAUS (figure II.7) du laboratoire de l'entreprise pendant quelque minute, dans le but d'éliminer l'humidité.

L'appareil utilisé dans notre étude est celle de fluide mètre (MFLOW/ZWIK) présente dans la (figure II.8) du laboratoire de l'entreprise. On utilise 4 gramme de granules il convient de se rapporter à L'ISO-1133 (cette norme spécifie deux modes opératoires pour la détermination de l'indice de fluidité à chaud en masse (MFR) et en volume (MVR) des matériaux thermoplastique, dans des conditions définies de température et de charge.).

**❖ Mode opératoire :**

Tout d'abord on met l'appareil en chauffage et attendre quel il soit à la température d'essai (200 °C), On place une prise d'essai de 4 g dans le cylindre chauffé pendant 300 seconds, on laisse la matière fondre, En suite, on place la charge choisie sur le piston et on laisse la matière

s'écoule pendant une minute puis on sectionne alors l'extruda et laisse le piston descendre sous l'action de la pesanteur et on déclenche le chronomètre.

Au bout de temps choisi, la coupe des nouveaux extrudas se lance automatiquement, qui conserve au minimum 3 extrudas et on calcule leur masse moyenne

Si la différence de masse entre les extrudas est supérieures à 15%, on refait l'essai

$$MFR = \frac{m \cdot 600}{t} \dots\dots\dots (II.1)$$

**m** : Masses des extrudas(g) ;

**t** : Temps de mesure en seconds(s).

MFR : L'indice de fluidité à chaud en masse (g/s).



**Figure II.6 : Un dessiccateur en marque OHAU**

**Figure II.7 : Machine de la fluidimètre MFLOW/ZWICK**

**II.4.1 La densité**

L'appareil utilisé dans notre étude est celui de densimètre(KERN) présenté dans la (figure II.9) qui appartient au laboratoire de l'entreprise ALL PLAST Akbou Bejaia, dans le but de mesurer la densité.

**❖ Mode opératoire**

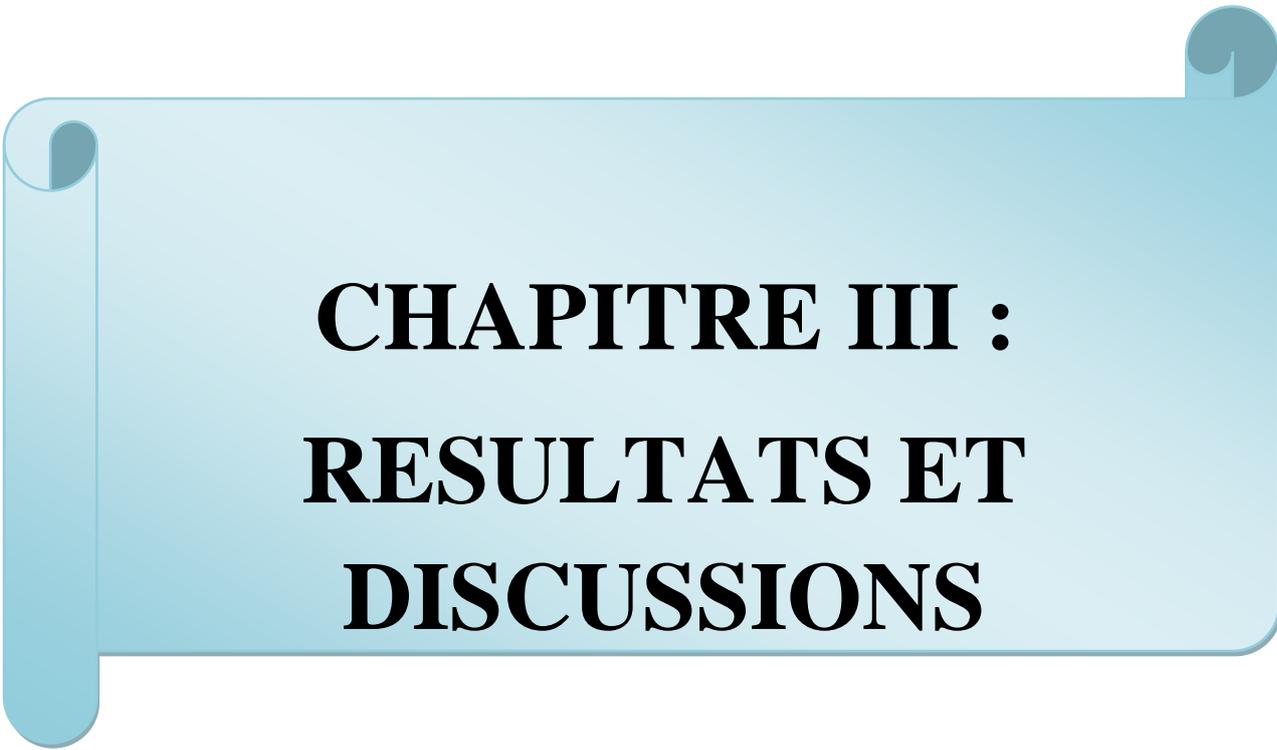
La mesure du poids s'effectue avec une balance numérique très sensible comme suit :

- Maintenir le bouton ON/OFF enfoncé jusqu'à que l'appareil s'allume.
- Placer l'échantillon à peser sur le plateau on appuyant sur le bouton TARE d'abord, si l'échantillon est sous forme de granulé ou liquide on place un récipient vide avant de tarer et sur le quel on verse l'échantillon.

- L'affichage indique le poids d'échantillon. On choisit l'unité de pesée en appuyant sur le bouton unit.



**Figure II.8 : Densité-mètre de marque KERN**



**CHAPITRE III :  
RESULTATS ET  
DISCUSSIONS**

**CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS**

---

**III INTRODUCTION**

On présentera dans ce chapitre nos résultats obtenus pendant l'étude expérimentale et leur discussion ainsi qu'une étude comparative.

**III.1 ANALYSE SPECTROPHOTOMETRIE IRTF**

Les spectres infrarouges présentés ci-dessous ont été obtenus sur des mélange de polystyrène (PS choc /PS cristal), des films (plaques) des mélanges PS choc /PS cristal sans charge et avec charge, et les mélanges obtenu pour les différentes formulations. L'utilisation de cette technique d'analyse nous a permet d'identifier les groupements caractéristiques du mélanges (PS choc / PS cristal) et (PS choc / PS cristal/ charge), et aussi identifier les interactions entre ces derniers dans les particules.

**III.1.1 MELANGES SANS CHARGE**

D'après le spectre IR (figure III.1) obtenu, on remarque que le PS choc et PS cristal Présente deux bandes de vibration de valence du groupement C-H, C=C et C=C-H dans l'intervalle de 760 à 1064 $\text{cm}^{-1}$  bande située entre 1200  $\text{cm}^{-1}$  et 1464  $\text{cm}^{-1}$  qui correspond aux élongations de (C=O et CH<sub>2</sub>) et dans 1697  $\text{cm}^{-1}$  une déformation de (C=C), et Une bande située de 2841  $\text{cm}^{-1}$  à 3675  $\text{cm}^{-1}$  l'élongation asymétrique de (C-H et CH<sub>3</sub>). D'après le spectre IR des (PS choc et PS cristal) on remarque l'absence des bandes caractéristiques du (50% choc + 50% cristal) et (70% choc + 30% cristal) , cependant toutes les bandes caractéristique du mélange(choc/cristal) sont présente avec des pics moins intense. Les bandes observées à environ 1100  $\text{cm}^{-1}$  correspondent à l'élongation du groupement éthers avec une intensité forte.

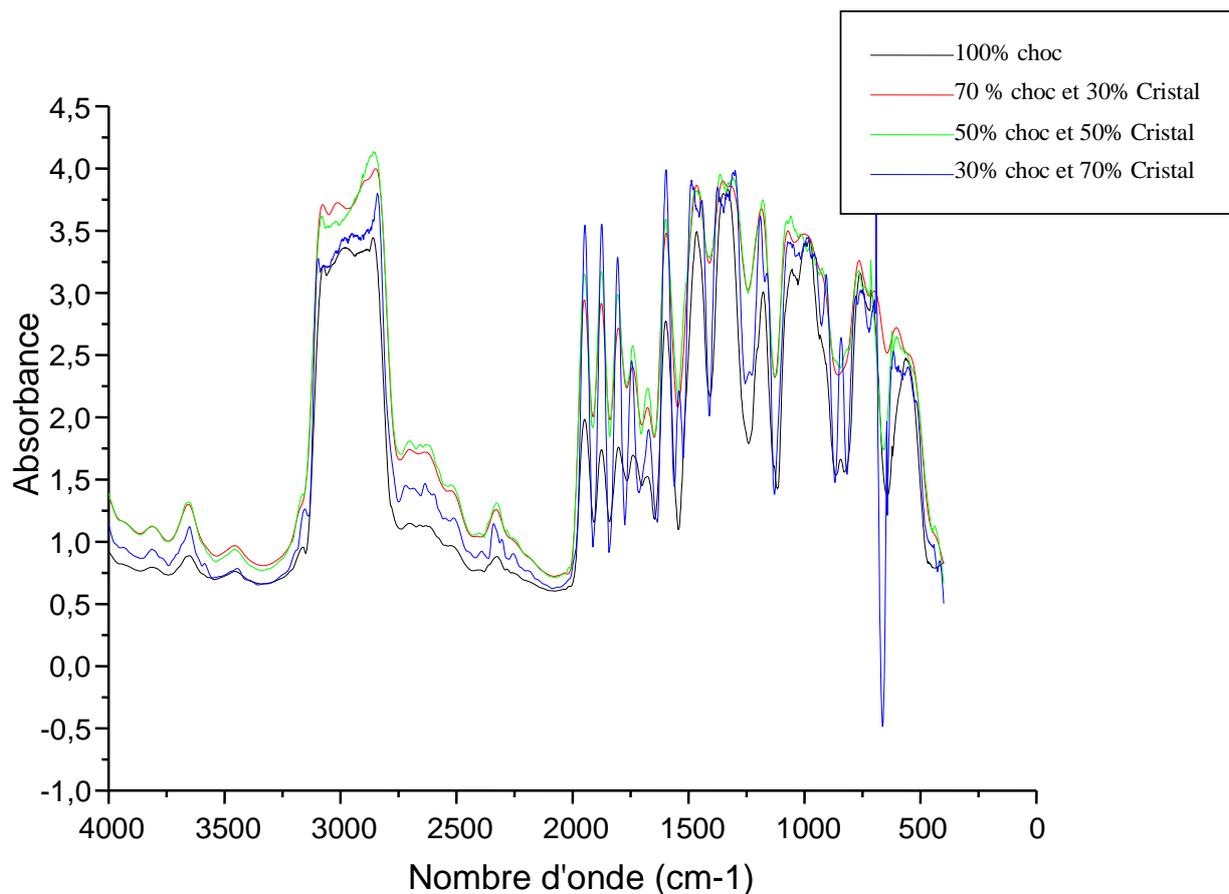


Figure 0.1: Spectre IR des mélanges sans charge entre 400 et 4000  $\text{cm}^{-1}$

Tableau 0.1 : les spectres infrarouges des mélanges sans charges

Type de mélange proportions en %			Bonde caractérisation	Observation
choc	cristal	charge		
100 %	0 %	0 %	C-H ( $760 \text{ cm}^{-1}$ ) C = C ( $900 \text{ cm}^{-1}$ ) C = C-H ( $1450 \text{ cm}^{-1}$ ) CH <sub>2</sub> ( $1464 \text{ cm}^{-1}$ ) C = C ( $1697 \text{ cm}^{-1}$ ) C-H ( $2962 \text{ cm}^{-1}$ ) CH <sub>3</sub> ( $3675 \text{ cm}^{-1}$ )	groupement groupement groupement élongation élongation déformation élongation
70 %	30 %	0 %	C-H ( $760 \text{ cm}^{-1}$ ) C = C ( $900 \text{ cm}^{-1}$ ) C = C-H ( $1064 \text{ cm}^{-1}$ ) CH <sub>2</sub> ( $1464 \text{ cm}^{-1}$ ) C = O ( $1200 \text{ cm}^{-1}$ ) C = C ( $1697 \text{ cm}^{-1}$ ) C-H ( $2841 \text{ cm}^{-1}$ ) CH <sub>3</sub> ( $3675 \text{ cm}^{-1}$ )	groupement groupement groupement élongation élongation déformation élongation élongation

50%	50 %	0 %	C-H (760 cm <sup>-1</sup> ) C = C (900 cm <sup>-1</sup> ) C = C-H (1064 cm <sup>-1</sup> ) CH <sub>2</sub> (1464 cm <sup>-1</sup> ) C = O (1200 cm <sup>-1</sup> ) C = C (1697 cm <sup>-1</sup> ) C-H (2841 cm <sup>-1</sup> ) CH <sub>3</sub> (3675 cm <sup>-1</sup> )	groupement groupement groupement élongation élongation déformation élongation élongation
30 %	70 %	0 %	C-H (760 cm <sup>-1</sup> ) C = C (900 cm <sup>-1</sup> ) C = C-H (1064 cm <sup>-1</sup> ) CH <sub>2</sub> (1464 cm <sup>-1</sup> ) C = O (1200 cm <sup>-1</sup> ) C = C (1697 cm <sup>-1</sup> ) C-H (2841 cm <sup>-1</sup> ) CH <sub>3</sub> (3675 cm <sup>-1</sup> )	groupement groupement groupement élongation élongation déformation élongation élongation

**III.1.2 Mélangés avec charge**

D’après le spectre IRTF (figure III.2) obtenu, on remarque que le PS choc et PS cristal Présente deux bandes de vibration de valence du groupement(C-H, C=C) située entre 670 et 900 cm<sup>-1</sup>.

Une bande située à 1100, 1710, 2900 et 3800cm<sup>-1</sup> correspond aux élongations de (C=O, C=O, C-H et CH<sub>3</sub>respectivement); à 1500 et 2000cm<sup>-1</sup> deux bandes caractéristiques de déformation de CH<sub>2</sub> et C-H. D’après le spectre IR des (choc et cristal) on remarque une faible absorbance des bandes caractéristiques du (50% choc + 50% cristal +3% charge) et (30% choc + 70% cristal+ 3% charge), cependant toutes les bandes caractéristique du mélange (choc/cristal) sont présente avec des pics moins intense.

Les bandes observées à environ 1100 cm-1 correspondent à l’élongation du groupement éthers avec une intensité fort.

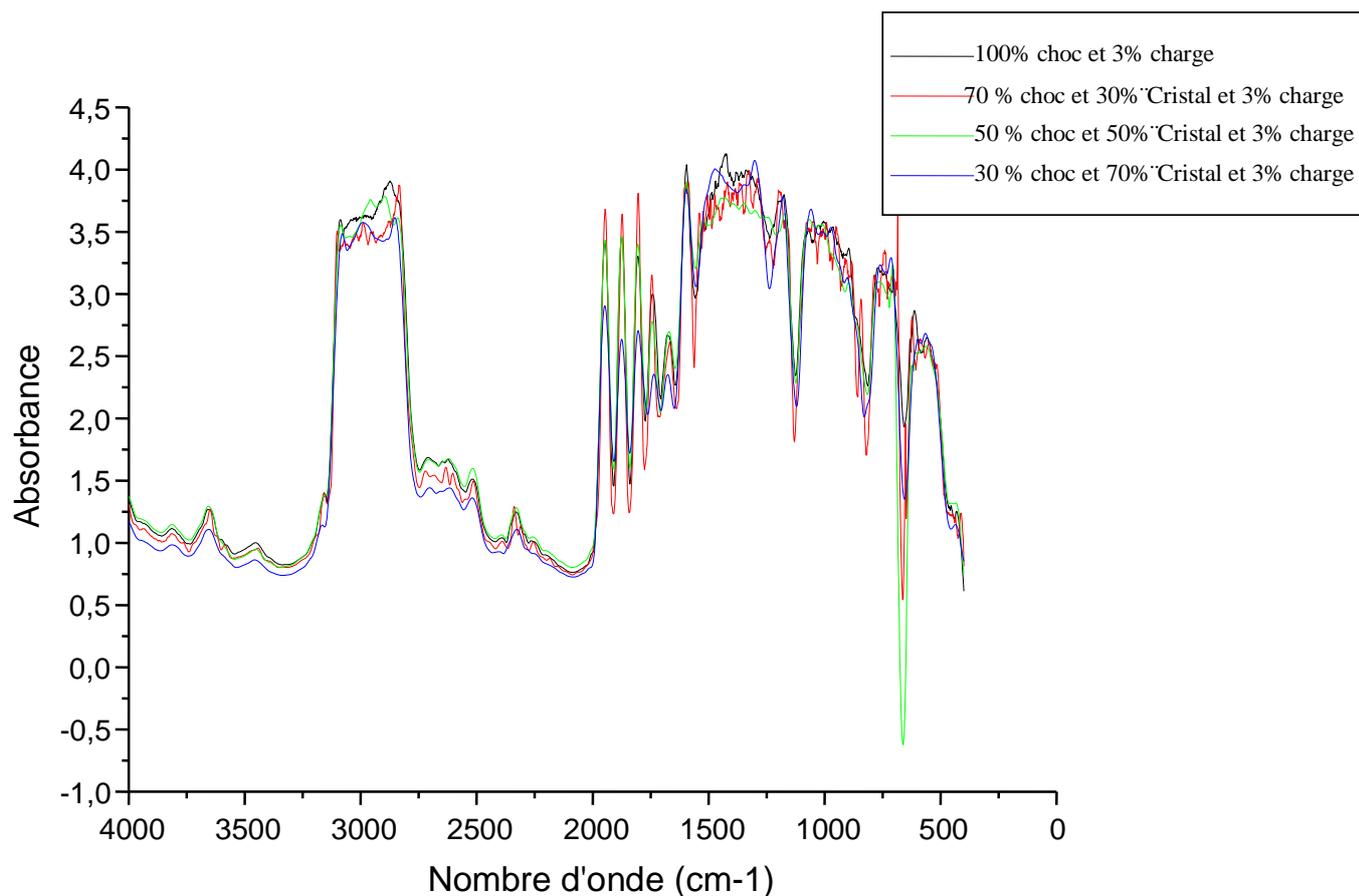


Figure 0.2: Spectre IR des mélanges avec charge entre 400 et 4000  $\text{cm}^{-1}$

Tableau 0.2 : les spectres infrarouges des mélanges avec charges

Type de mélange proportions en %			Bonde caractérisation	Observation
choc	cristal	charge		
100 %	0 %	3 %	C-H ( $760 \text{ cm}^{-1}$ ) C = C ( $900 \text{ cm}^{-1}$ ) C = C-H ( $1064 \text{ cm}^{-1}$ ) CH <sub>2</sub> ( $1464 \text{ cm}^{-1}$ ) C = O ( $1200 \text{ cm}^{-1}$ ) C = C ( $1697 \text{ cm}^{-1}$ ) C-H ( $2841 \text{ cm}^{-1}$ ) C = O ( $1850 \text{ cm}^{-1}$ )  CH <sub>2</sub> ( $2925 \text{ cm}^{-1}$ ) CH <sub>3</sub> ( $3675 \text{ cm}^{-1}$ )	groupement groupement groupement élongation élongation déformation élongation groupement  élongation élongation

70 %	30 %	3 %	C-H (760 cm <sup>-1</sup> ) C = C (900 cm <sup>-1</sup> ) C = C-H (1064 cm <sup>-1</sup> ) CH <sub>2</sub> (1464 cm <sup>-1</sup> ) C = O (1200 cm <sup>-1</sup> ) C = C (1697 cm <sup>-1</sup> ) C-H (2841 cm <sup>-1</sup> ) CH <sub>2</sub> (1750 cm <sup>-1</sup> ) C = O (1850 cm <sup>-1</sup> ) C-H (2925 cm <sup>-1</sup> ) CH <sub>3</sub> (3675 cm <sup>-1</sup> )	groupement groupement groupement élongation élongation déformation élongation groupement élongation élongation élongation
50 %	50 %	3 %	C-H (700 cm <sup>-1</sup> ) C-O (1100 cm <sup>-1</sup> ) C = O (1710 cm <sup>-1</sup> ) C = C (1800 cm <sup>-1</sup> ) C-H (2000 cm <sup>-1</sup> ) C-H (2800 cm <sup>-1</sup> ) C-H (3650 cm <sup>-1</sup> ) CH <sub>3</sub> (3800 cm <sup>-1</sup> )	groupement groupement élongation groupement déformation déformation élongation élongation
30 %	70 %	3 %	C-H (670 cm <sup>-1</sup> ) C = C (900 cm <sup>-1</sup> ) C = O (1100 cm <sup>-1</sup> ) C H <sub>2</sub> (1500 cm <sup>-1</sup> ) C = O (1710 cm <sup>-1</sup> ) C-H (2000 cm <sup>-1</sup> ) C-H (2900 cm <sup>-1</sup> ) CH <sub>3</sub> (3800 cm <sup>-1</sup> )	groupement groupement élongation déformation élongation Déformation élongation élongation

D'après le spectre IR des (choc et cristal) on remarque une faible absorbance des bandes caractéristiques des mélange avec charge et du (50% choc + 50% cristal) et (70% choc + 30% cristal) cependant toutes les bandes caractéristique du mélange (choc/cristal) sont présentes avec des pics moins intense.

Les bandes observées à environ 1100 cm-1 correspondent à l'élongation du groupement éthers avec une intensité forte.

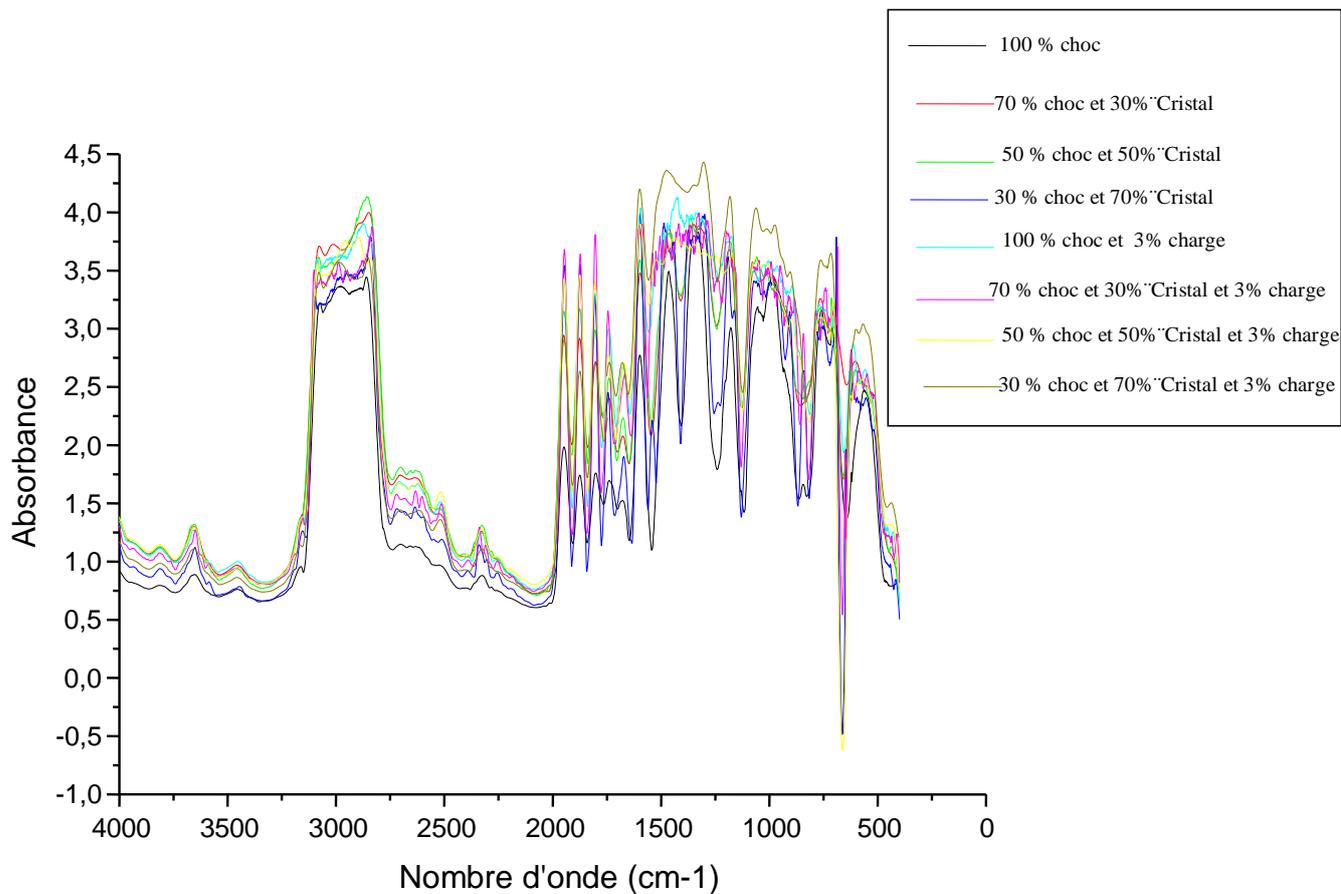


Figure 0.3 : Spectre IR des mélanges avec charge et sont charge entre 400 et 4000 cm-1

### III.2 TEST DE TRACTION

Dans cette partie nous étudions l'influence de l'ensemble des paramètres indiqués dans le tableau (III.3) et les figures (III.4, III.5) est notre étude est porter sur les mélanges sans charge et les mélanges avec charge.

#### III.2.1 Les mélanges sans charge / PS choc- PS cristal

La figure (III.4) présente la force standard en fonction de l'allongement à la rupture.

D'après la figure (III.4), on distingue trois zones :

- $0 < \Delta L < 0.35 \text{ mm}$ , on parle de la zone élastique où la force est proportionnelle à l'allongement, dans ce cas le matériau est réversible puisque il revient à son état initial avec la suppression de la force appliquée. On peut aussi désigner le point de la force maximum élastique qui correspond à la valeur 150 N ( $F_e = 150 \text{ N}$ ).
- $0.35 \text{ mm} \leq \Delta L < 0.5 \text{ mm}$ , on parle de la zone plastique qui correspond à la déformation où le matériau est irréversible. La force de la résistance à la rupture est de 220 N ( $F_R = 220 \text{ N}$ ).

- Au-delà, on parle de la zone striction qui correspond à la rupture de l'éprouvette (déformation permanente).

D'après les quatre expériences sans charge effectuées on remarque que la matière qui possède 30% PS choc et 70% PS cristal est le plus résistant puisque il a une d'élasticité et une force de résistance à la rupture plus élevée par rapport aux autres échantillons.

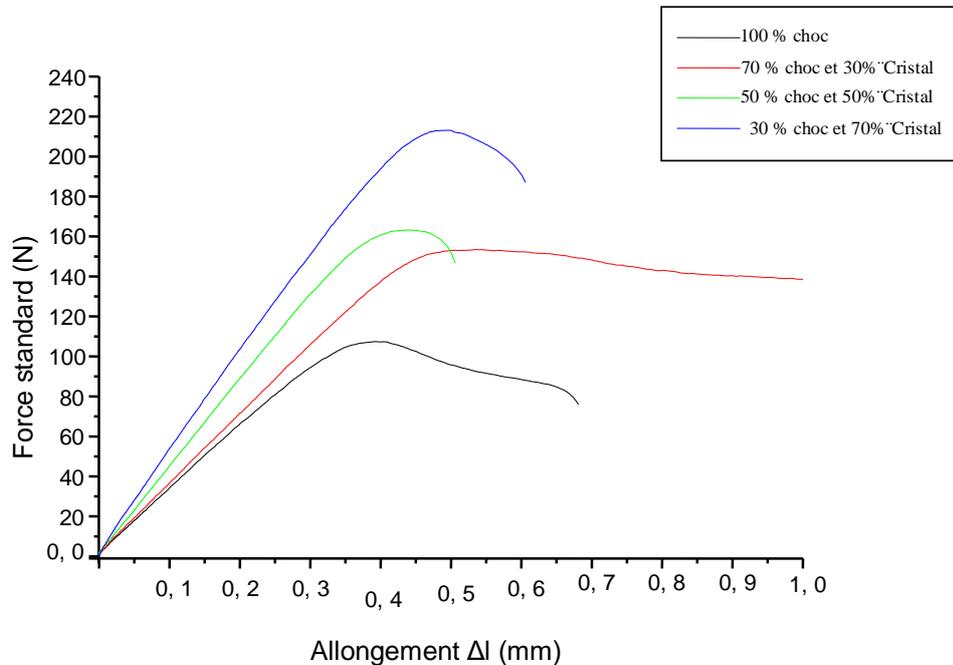


Figure 0.4 : Superposition des courbe sans charge contrainte-allongement

### III.2.2 Mélanges PS choc/PS cristal avec charge CaCO<sub>3</sub>

La figure (III.5) présente la force standard en fonction de l'allongement à la rupture. D'après la figure (III.5), on distingue trois zones :

- $0 < \Delta L < 0.3 \text{ mm}$ , on parle de la zone élastique où la force est proportionnel à l'allongement, dans ce cas le matériau est réversible puisque il revient à son état initial avec la suppression de la force appliquée. On peut aussi désigne le point de la force maximum élastique qui correspond à la valeur 85 N ( $F_e = 85 \text{ N}$ ).
- $0.3 \text{ mm} \leq \Delta L < 0.47 \text{ mm}$ , on parle de la zone plastique qui correspond à la déformation où le matériau est irréversible. La force de la résistance à la rupture est de 90 N ( $F_R = 90 \text{ N}$ ).
- Au-delà, on parle de la zone striction qui correspond à la rupture de l'éprouvette (déformation permanente).

La figure (III.5) présente la force standard en fonction de l'allongement des quatre échantillons des mélanges avec charge précédents.

D'après les quatre expériences avec charge effectué on remarque que la formulation qui possède 30% PS choc et 70% PS cristal est le plus résistant puisque il a une d'élasticité et une force de résistance à la rupture plus élevé par rapport aux autres échantillons

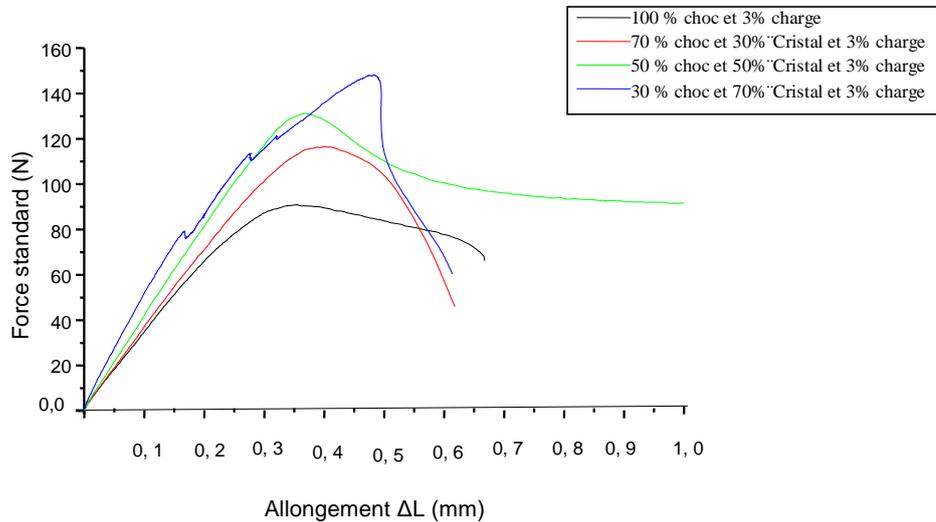


Figure 0.5 : Superposition des courbe avec charge contrainte-allongement

❖ La comparaison entre les formulations sans charge et avec charge.

La figure (III.6) présente la force standard en fonction de l'allongement des échantillons des mélanges sans charge et avec charge précédents. La comparaison entre les quatre expériences sans charge et quatre expériences avec charge, on constate que l'échantillon sans charge est plus performant.

On déduit que la charge influence légèrement sur le matériau.

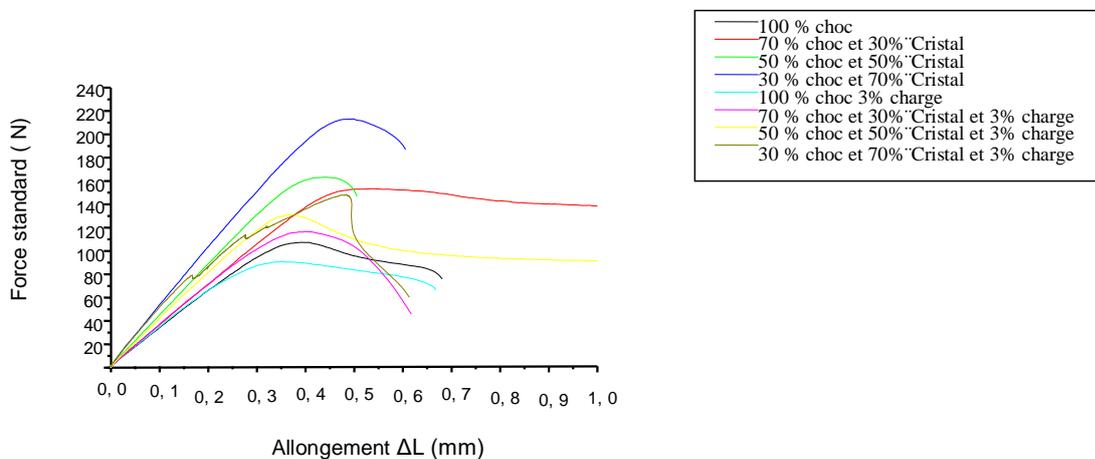


Figure 0.6 : Superposition des courba contrainte-allongement

Le tableau III.2 présente les propriétés mécaniques des mélanges sans et avec charge.

**Tableau 0.3 : Propriétés mécaniques des mélanges sans et avec charge**

Echantillon	Module de Young (MPa)	Contrainte à la rupture(MPa)	Déformation à la rupture%	F <sub>max</sub> (N)
100% choc	1.55	8.1	75	90.9
70% choc 30% cristal	1.70	10.5	82	117
50% choc 50% Cristal	1.86	11.9	80	131
30% choc 70% Cristal	2.28	13.8	89	148
100% choc+3% de charge CaCO <sub>3</sub>	1.33	9.5	70	107
70% choc 30% Cristal+3% de charge CaCO <sub>3</sub>	1.72	13.5	95	153
50% choc 50% Cristal+3% de charge CaCO <sub>3</sub>	1.92	14.7	90	163
30% choc 70% Cristal+3% de charge CaCO <sub>3</sub>	2.53	19.5	95	213

Les propriétés mécaniques en traction (contrainte à la rupture, déformation à la rupture et module de young) du polystyrène, des composites de choc/cristal et choc/ cristal/ charge à 3% de la charge CaCO<sub>3</sub> sont présentées dans le tableau (III.3).

Les résultats regroupés dans le tableau (III.3) montrent l'augmentation du module de young du polystyrène sans et avec charges ; le module de young augmente de 1.55 MPA jusqu'à 2.88 MPA dans le cas des mélanges sans charge ; dans le cas des mélanges avec charges le module de young augmente de 1.33 MPA à 2.53 MPA.

L'amélioration du module de young avec l'incorporation des mélanges (sans et avec charge), peut être due à la présence d'une phase rigide qui confère une grande rigidité à la matrice polymère et pourrait être liée aussi à une meilleure dispersion des faisceaux du cristal sur la matrice polystyrène. De plus, l'incorporation du PS choc – PS cristal entraîne une nette augmentation du module de young par rapport au choc. On note également une augmentation de l'allongement à la rupture des mélanges PS choc- PS cristal en absence et en présence de la charge. La contrainte à la rupture augmente pour PS cristal à celle du PS choc. En revanche ; l'ajout de la charge augmente cette contrainte à la rupture.

**III.3 TESTS DE FLUIDITE**

Dans cette partie nous étudions la variation de la fluidité des échantillons sans charge et avec charge qui indiquée dans les tableaux suivant (III.4, III.5).

**III.3.1 Mélanges sans charge**

Le tableau (III.4) présente la fluidité des mélanges sans charges, et la figure (III.7) présente la fluidité en fonction des essais des échantillons des mélanges sans charges.

Tableau 0.4 : Evolution de la fluidité des mélanges sans charge

échantillons	100%PS choc	70%PS choc+30% PS cristal	50%PS choc+50% PS cristal	30%PS choc+70% PS cristal
La fluidité	7,33	16,37	27,55	28,97

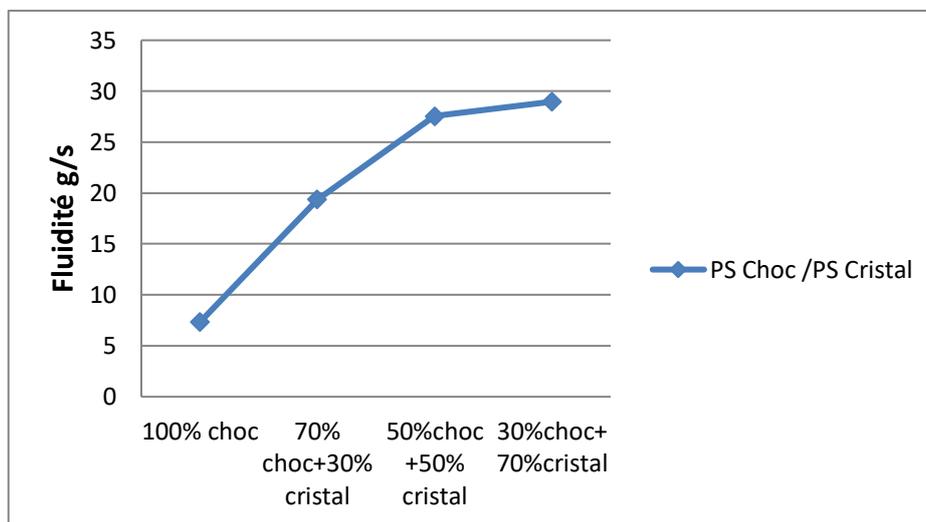


Figure 0.7 : La fluidité des échantillons sans charge

En comparation les résultats avec les valeurs de MFR de matière vierge, Test 100% choc (extrudé) nous remarquons une élévation de la valeur MFR à 7.33 g/s au lieu de 4 g/s. Cette élévation explique l'influence de la température d'extrudeuse (260 °C) sur les caractéristiques de la matière (MFR), la matière est devenue plus fluide.

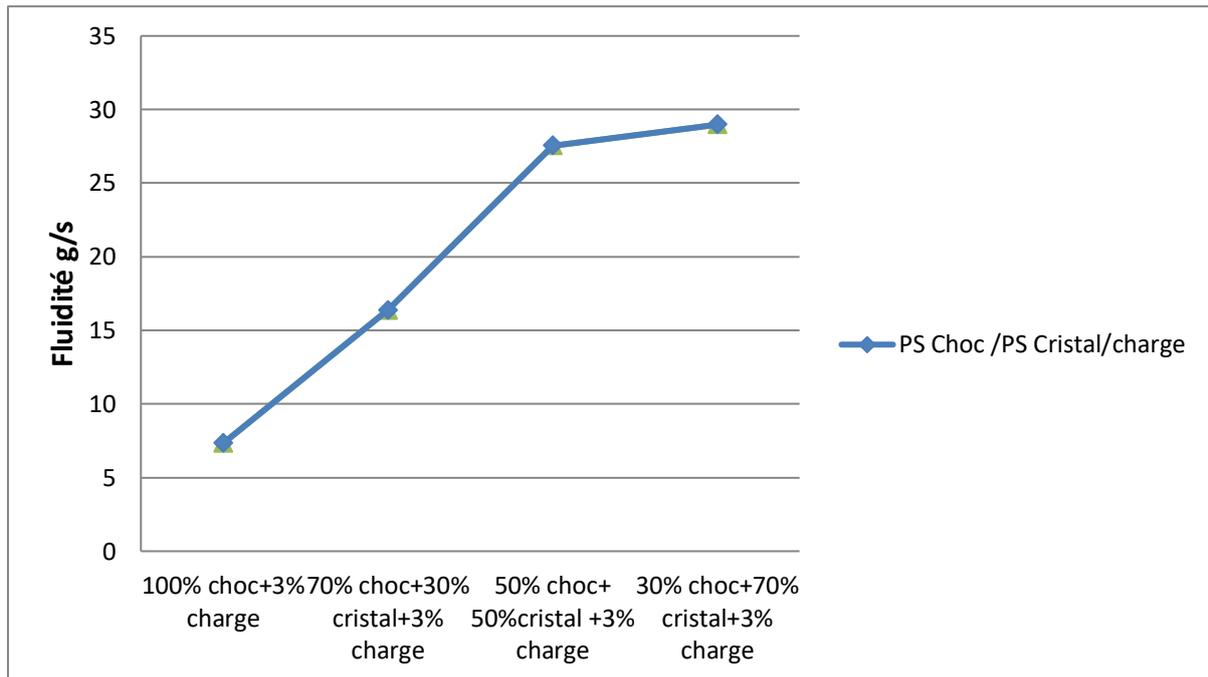
Sachant que la matière cristal 9 g/s est plus fluide que matière choc, dans le mélange des deux matières choc/cristal aura une fluidité variable selon le pourcentage des deux mélanges. Ce qui est prouvé par les résultats de nos tests

### III.3.2 Mélanges avec charge

Le tableau (III.5) présente la fluidité des mélanges avec charges, et la figure (III.8) présente la fluidité en fonction des essais des échantillons des mélanges avec charges

Tableau 0.5: Evaluation de la fluidité des mélanges avec charge

Echantillons	100%PS choc +3% charge	70%PS choc+30% PS cristal+3% charge	50%PS choc+50% PS cristal+3% charge	30%PS choc+70% PS cristal+3% charge
La fluidité	7,03	14,39	19,63	27,03



**Figure 0.8 : La fluidité des enchantions avec charge**

En comparaison les résultats avec les valeurs de MFR de matière vierge, test de 100% choc et 3% charge (extrudé) nous remarquons une élévation de la valeur MFR à 7.03 g/s au lieu de 4 g/s. Cette élévation explique l'influence de la température d'extrudeuse (260 °C) sur les caractéristiques de la matière (MFR) la matière est devenue plus fluide. Sachant que la matière cristal 9 g/s est plus fluide que matière choc et la charge  $\text{CaCO}_3$   $0,3\text{g/cm}^3$ , donc le mélange des trois matières choc/cristal/ charge  $\text{CaCO}_3$  aura une fluidité variable selon le pourcentage des trois mélanges. Ce qui est prouvé par les résultats de nos tests.

#### ❖ La comparaison des résultats

La figure (III.9) présente la fluidité des échantillons en fonction des essais des échantillons des mélanges avec et sans charge.

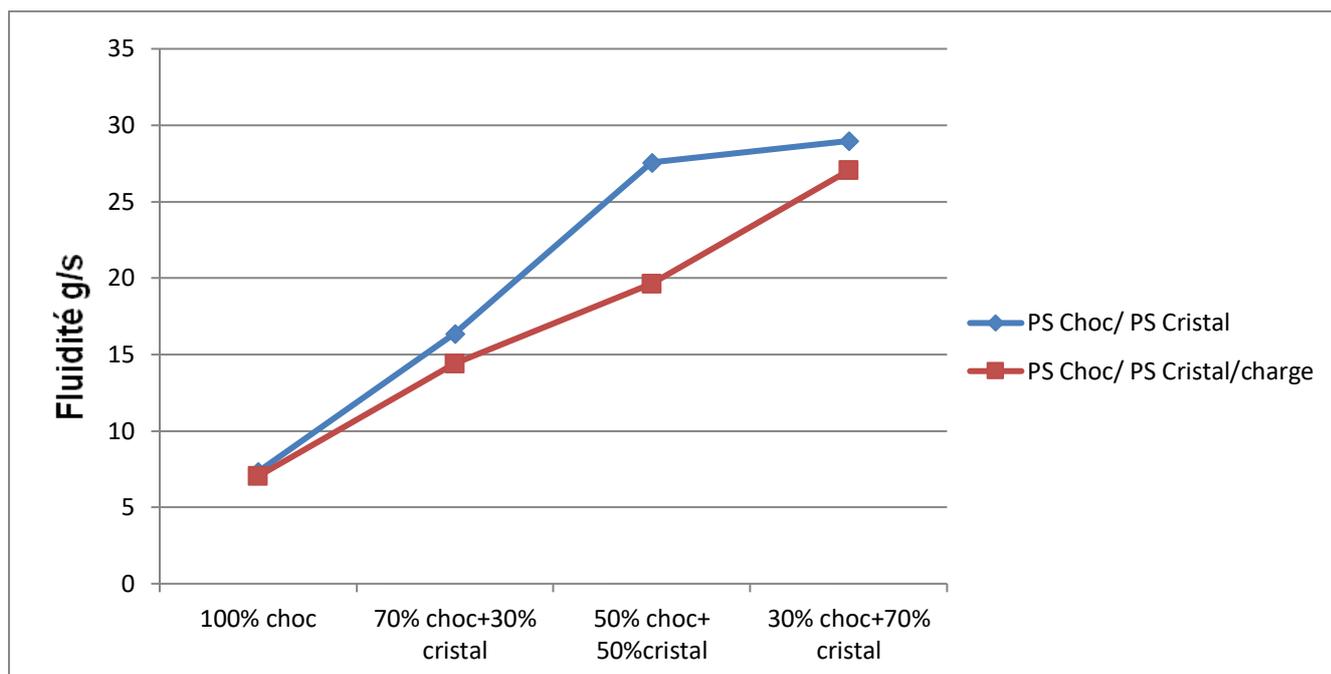


Figure 0.9 : La fluidité des enchantions sans et avec charge

D’après la figure III.9 , on remarque une diminution des valeurs de MFR dans les mélange sans charge. Cette diminution est due à l’influence de la charge (CaCO<sub>3</sub>) sur les caractéristiques de la matière, donc la matière est devenue moins fluide .

### III.4 DETERMINATION DE LA DENSITE

Dans cette partie nous étudierons la variation de la densité des échantillons sans charge et avec charge.

#### III.4.1 Mélanges sans charge

Le tableau III.6 présente les résultats de la densité des mélanges sans charges.

Tableau 0.6 : Résultats de la densité des mélanges sans charge

échantillons	100%PS choc	70% PS choc +30% PS cristal	50%PS choc+50% PS cristal	30%PS choc+70% PS cristal
Densité	1.022	1.024	1.026	1.030

Pour déterminer la densité, on applique la méthode de la mesure des poids ou pesage d’après les résultats obtenus dans tableau(III.6), il s’avère que les densités trouvées sont dans la marge des densités de la matière première utilisées.

L’augmentation du pourcentage de cristal provoque une augmentation des valeurs de la densité des échantillons analysés.

#### III.4.2 Mélanges avec charge

Le tableau III.7 présente les résultats de la densité des mélanges avec charges.

**Tableau 0.7 : Résultats de la densité des mélanges avec charge**

Echantillon	100%PS choc +3% Charge	70% PS choc+30% PS cristal+3%charge	50%PS choc+50% PS cristal+3% charge	30%PS choc+70% PS cristal+3% charge
Densité	1,043	1,029	1,032	1,034

Pour déterminer la densité, on applique la méthode de la mesure des poids ou pesage d'après les résultats enregistrés dans tableau (III.7), remarque que quand on augmente le pourcentage du cristal et la diminution de pourcentage du choc provoque l'augmentation de la densité des mélanges avec charges.

❖ **La comparaison des résultats de la densité.**

A partir de deux tableaux (III.6 et III.7), la densité des échantillons avec charge est augmentée par rapport aux échantillons sans charge à cause de l'effet de la charge sur le PS choc et le PS cristal.



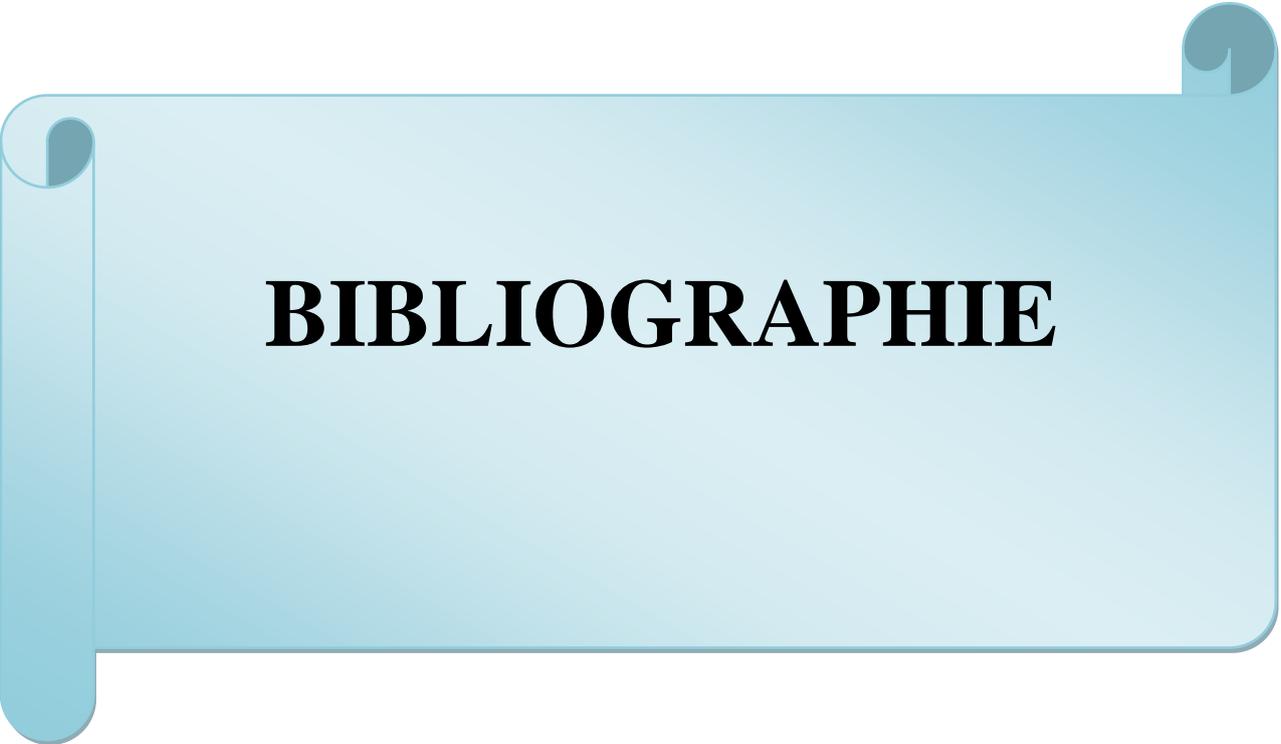
**CONCLUSION  
GENERALE**

## CONCLUSION GENERALE

Le choix de la teneur en PS cristal et PS choc avec la présence ou non d'une charge reste une question importante qui influence directement sur les caractéristiques du produit fini et sur le domaine de son application. Dans ce contexte, notre travail a porté sur l'étude de l'influence du taux de la charge de  $\text{CaCO}_3$  sur des différentes composites PS choc/ PS Cristal dans le but d'analyser leurs effets sur les propriétés structurales, propriétés mécaniques et propriétés rhéologiques.

L'élaboration des formulations à différent pourcentage en PS choc et PS cristal avec et sans charge ont été effectués par procédé d'extrusion dans une extrudeuse bi-vis puis presser à laide d'une presse hydraulique pour obtenir des films et plaques qui seront par la suit soumis aux différents tests, en l'occurrence l'analyse structural par l'IRTF, l'essai de traction, le test de fluidité et la densité. A partir des résultats obtenus des expériences réalisées, il est possible de tirer les conclusions suivantes :

- Apres analyse structural des formulations par la spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier IRTF, nous avons constaté une différence entre le spectre 'infrarouge des mélange sans charge et le spectre d'infrarouge des mélanges avec charge, ce qui confirme les regroupements des mélange sans charge et les regroupements de polystyrène avec la charge de  $\text{CaCO}_3$ .
- Les résultats des propriétés mécaniques ont montré que la charge influencée légèrement sur l'élasticité et la contrainte et la déformation des échantillons.
- Les résultats de l'étude rhéologique (indice de fluidité), la charge de  $\text{CaCO}_3$  entraine une diminution de fluidité, la composent de 100% choc + 3% charge présent la valeur de l'indice de fluidité la plus petite par rapport aux autres composite.
- Nous avons aussi montré que les valeurs de densité sont affectées par la présence de la charge dans la matrice polymérique, ses valeurs augmentent dans les échantillons avec charge par rapport aux échantillons sans charge.



# **BIBLIOGRAPHIE**

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] w. Ghorz, "Etude de la diffusion des molécules de baspoids moléculaire dans des réseaux de polymères acryliques ", mémoire de master, université de abou bekrelkaid, Tlemcen, Algérie , 2012.
- [2] C.Decker, «Polymérisation sous rayonnement UV,Techniques de l'ingénieur traité Plastiques et composites,A M 3 044,» 2000.
- [3] S.BOUTAREN, Effet de l'oxydation sur la biodégradation de films de polyéthylène basse densité (PEBD);magister en Génie des Procédés;université A.Mira de béjaia, 2009.
- [4] Nomenclature, classification et formules chimiques des polymères Cécile-Anne NAUDIN Ingénieur de l'École Supérieure de Chimie Industrielle de Lyon Responsable de traités aux Techniques de l'Ingénieur, 1995.
- [5] S.LASMI, Effet des taux de l'agent traitant et de l'agent comptibilisant sur les propriétés des nanocomposites Polypropylène/Silice, 2014.
- [6] P. Enroult, physique des polymères tome I : STRUCTURE, FABRICATION ET EMPLOI, Hermann éditeurs, 2005.
- [7] J.-M. Haudin et A.-F. Gourgues- Lorenzon, «Matériaux pour l'ingénieur,» 2006.
- [8] J. Rault, Les polymères solides, vol. 254, Edition Cépadués, 2002.
- [9] [En ligne]. Available: <http://dspace.univ-biskra.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/4326/3/chapitre%20%2001.pdf> . [Accès le 2 juillet 2021].
- [10] D. Perrin, W. Armarego et D. Perrin, Purification of Laboratory Chemicals, 2eme Ed. Pergamon Press, 1980.
- [11] K. L.LIMAM, Fonctionnalisation du polystèrene par l'acide oléique et application dans l'extraction de la fuchsine basique en solution aqueuse;mémoire de master; université A.M.OULHADJ de Bouira, 2018.
- [12] B. Burger, M. Valérie et D. Claude, Polystyrène expansé et développement durable, Editions

Eyrolles, 2008.

- [13] N. NEMICHE, Synthèse et caractérisation de copolymères Sequences à Sequences Hydrophiles de poly (1,3-dioxolane), de poly (éthylène glycol) et de poly(N-vinylpyrrolidone). Université d'Oran page 20, 2013.
- [14] L. A. UTRACKI, polymer Alloys and Blend: Thermodynamics and Rheology/ Munich : hanser, 1990.
- [15] [En ligne]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Envase\\_de\\_yogur.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Envase_de_yogur.jpg). [Accès le 15 mai 2021].
- [16] M. coll, Matériaux industriels ,matériaux polymères, DUNOD, 2000.
- [17] S. BIZET, «Nanomatériaux hybrides organique/inorganique par copolymérisation de polysilsesquioxanes polyédriques(POSS) avec des monomères méthacrylate,» 2004. [En ligne]. Available: <http://docinsa.insalyon.fr/these/2004/bizet/folio.pdf>. [Accès le 23 juin 2021].
- [18] N. A. PEREZ, « Etude calorimétrique et diélectrique de nanocomposites silicones,» 2008. [En ligne]. Available: <http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/35/18/50/PDF/NAP-Final-08.pdf>. [Accès le 02 juillet 2021].
- [19] A. Illaik, «" Synthèse et caractérisation de nanocomposites polymères/hydroxydes doubles",» 2008. [En ligne]. Available: <http://tel.archivesouvertes.fr/docs/00/73/06/33/PDF/2008CLF21858.pdf> . [Accès le 2 juin 2021].
- [20] M. Marquis, E. Guillaume et C. Chivas-Joly, Properties of nano-fillers in polymer in J. Cuppoletti. Nanocomposites and polymers with analytical methods, InTech, 2011.
- [21] M. AMBID, «"Evaluation de nanocomposites polypropylène/silicate pour l'isolation électrique : Etude des phénomènes de polarisation, de conduction et des propriétés optiques,» 2007. [En ligne]. Available: [http://thesesups.ups-tlse.fr/795/1/Ambid\\_Matthieu.pdf](http://thesesups.ups-tlse.fr/795/1/Ambid_Matthieu.pdf). [Accès le 03 juin 2021].
- [22] E. Bugnicour, "Development of sub micro structured composites based on an epoxy matrix and pyrogenic silica, mechanical behavior related to the interactions and morphology" ;Thèse de Philosophie Doctorat (Ph. D) Lyon: INSA de Lyon, vol. 309, 2005.
- [23] G. christelle, P. jean-Claude et D. jean-claude, charge, Nano-composite à lamellaires et matrice

polymère, Zi du Giers, 2003.

## RESUME

L'objectif de ce travail est d'étudier et d'améliorer les propriétés du polystyrène et le degré d'influence de la substance minérale ( $\text{CaCO}_3$ ) sur les propriétés physiques et chimiques du polystyrène.

Nous avons également étudié les propriétés physiques et mécaniques et l'effet de la substance minérale ( $\text{CaCO}_3$ ) dans le polystyrène. Afin de préparer les différents films on suit un mode opératoire qu'il s'agit de mettre les formules dans l'étuvage pendant une heure, dans le but d'éliminer l'humidité, la préparation des films (plaques) qui se fait avec une presse hydraulique à deux plates dans le but de préparer les plaques, on les dispose entre deux plaques métalliques munies de deux feuilles de téflon pour mettre au dessus les formulation à  $260\text{ }^\circ\text{C}$ . Après avoir effectué notre étude, les résultats obtenue montré que l'infrarouge ne donne la différence entre les regroupements des mélange sans et avec charge, et que la charge influencé légèrement sur les propriétés mécaniques et influencé sur la fluidité et la densité des mélanges.

### ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة وتحسين خواص البوليسترين ودرجة تأثير المادة المعدنية ( $\text{CaCO}_3$ ) على الخواص الفيزيائية والكيميائية للبوليسترين.

كما درسنا الخواص الفيزيائية والميكانيكية وتأثير المادة المعدنية ( $\text{CaCO}_3$ ) في البوليسترين. من أجل تحضير الصفائح المختلفة، يتم إتباع إجراء يتضمن وضع التركيبات في الباخرة لمدة ساعة واحدة، بهدف القضاء على الرطوبة، وتحضير الصفائح التي يتم إجراؤها باستخدام مكبس هيدروليكي ذو لوحين من أجل تحضير الصفائح، توضع بين لوحين معدنيين مزدوتين بصفتين من التلفون لتوضع فوق التركيبة عند  $260$  درجة مئوية بعد إجراء دراستنا، أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الأشعة تحت الحمراء تعطي الفرق بين المخالط بدون شحنة وبشحنة، وأن الشحنة تؤثر تأثيراً طفيفاً على الخواص الميكانيكية وتؤثر على سيولة المخالط وكثافتها.

## ABSTRACT

The objective of this work is to study and improve the properties of polystyrene and the degree of influence of the mineral substance ( $\text{CaCO}_3$ ) on the physical and chemical properties of polystyrene.

We also studied the physical and mechanical properties and the effect of the mineral substance ( $\text{CaCO}_3$ ) in polystyrene. In order to prepare the various films we follow a procedure that it is a question of putting the formulas in the steaming during one hour, with the aim of eliminating moisture, the preparation of the plates which is done with a hydraulic press with two plates with the aim of preparing the plates, they are laid out between two metal plates provided with two sheets of Teflon to put on top the formulation at  $260\text{ }^\circ\text{C}$ . After carrying out our study, the results obtained showed that the infrared does not give the difference between the groupings of the mixtures without and with load, and that the load influenced slightly on the mechanical properties and influenced on the fluidity and density of the mixtures.