

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA

RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE FERHAT ABBAS SETIF-1

FACULTE DE TECHNOLOGIE.

DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES.

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MAGISTER

Option : Génie des Polymères

Présenté par:

BEDJAOUI Khaled

Thème

**PREPARATION ET CARACTERISATION DU MELANGE
POLYCARBONATE/POLYSTYRENE-CO- ACRYLONITRILE (PC/SAN)**

"EFFET DU COMPATIBILISANT SUR SES PROPRIETES".»

Soutenu le : 02/06 /2015

Devant le jury

Président :	Pr. A. DOUIBI	Université Ferhat ABBAS, Sétif-1
Rapporteur :	Pr. R. KRACHE	Université Ferhat ABBAS, Sétif-1
Examineur :	Pr. S. NEKKA	Université Ferhat ABBAS, Sétif-1
	Pr. M. GUESSOUM	Université Ferhat ABBAS, Sétif-1

REMERCIEMENTS

Dieu soit Loué AL HAMDOU LILLAH

Ce travail a été réalisé aux laboratoires de génie des polymères (LMPMP, LPCHP), université FERHAT ABBAS de Sétif-1 et au laboratoire de la SARL MAPROGAZ et L'unité de Moulage et injection du AMC de ELULMA.

Je tiens à remercier, en première lieu ma Directrice Madame KRACHE RACHIDA professeur à l'université de Sétif-1 de m'avoir proposé ce sujet, de m'avoir suivi et permis de mener à bien ce travail.

Je tiens à remercier monsieur A. DOUBI professeur à l'université de Sétif-1 qui me fait l'honneur d'accepter la présidence du jury de ce mémoire.

Je remercie chaleureusement madame S. NEKKA professeur à l'université FERHAT ABBAS Sétif-1 pour avoir accepté de juger ce Modest travail.

Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à madame M. GUESSOUM professeur à l'université FERHAT ABBAS Sétif-1 pour leur conseil et leur encouragement qui m'ont été d'une grande aide pour mener à bien ce travail et de m'avoir accepté de juger ce travail.

J'adresse mes remerciements à tous les membres des laboratoires de Génie des Polymères pour leur aide et leur soutien au cours des différentes phases de ce travail.

Dédicace

A mes Parents

A mes Sœurs

A mes Frères

A mes Neveux

A mes cousins

A mes Amies

SOMMAIRE

Remerciements	i
Dédicaces	ii
Liste des tableaux	iii
Liste des figures	iv
Liste d'abréviations.....	
Introduction générale.....	1
Problématique.....	3

CHAPITRE I : Matières Premières

I- Matières Première.....	5
I-1 Introduction	5
I-1-1 Historique du polycarbonate	5
I-1-2 Présentation du PC	5
a- Structure du PC	5
I-1-3 Synthèse du polycarbonate.....	6
a- Synthèse par polycondensation	6
b- Synthèse par transestérification	7
I-1-4 Mise en œuvre du polycarbonate (PC)	7
I-1-5 Consommation du PC dans le monde	7
I-1-6 Les Propriétés du polycarbonate.....	8
a- Propriétés physiques.....	8
b- Propriétés mécanique	9
c- Propriétés chimiques	9
d- Propriétés électriques.....	9
e- Propriétés thermiques	10
f- Propriétés dimensionnelle	10
I-1-7 Avantages, inconvénients du polycarbonate	10

SOMMAIRE

I-1-8 Applications du polycarbonate	12
I-2 Le Poly (styrène-co-acrylonitrile) (SAN).....	13
I-2-1 Présentation du SAN	13
I-2-2 Structure du SAN	13
I-2-3 Synthèse du SAN	13
I-2-4 Mise en œuvre du SAN	14
I-2-5 Les Propriétés du SAN.....	14
I-2-6 Applications du SAN	15

CHAPITRE II : Mélanges de Polymères

II-1 Les Mélanges de polymères	16
II-2 Définition des mélanges polymériques	16
II-3 L'intérêt des Mélanges de polymères.....	16
II-4 Utilisation des Mélanges dans l'industrie	17
II-5 Comment concevoir un Mélange de polymère	17
II-6 Type des Mélange de polymères	18
II-6-1 Mélange miscible	18
II-6-2 Mélange partiellement miscible	19
II-6-3 Mélange de polymères totalement incompatible	19
II-6-4 Mélange de polymères compatibles.....	19
II-7 Compatibilité et Miscibilité des Mélanges.....	19
II-7-1 Compatibilisation des Mélanges de polymères.....	19
II-7-2 Objectif de la compatibilisation	19
II-7-3 Les Méthodes de compatibilisation	20
II-7-3-1 Compatibilisation non réactive.....	20
II-7-3-2 Compatibilisation réactive (in-situ).....	22
II-7-4 Effet du taux de copolymère	22
II-7-5 Morphologie des mélanges de polymères.....	23

SOMMAIRE

II-7-6 L'agent de compatibilisan.....	23
II-7-6-1 Les agents inter-faciaux.....	24
II-7-6-2 Les copolymères statistiques.....	24
II-7-7 Mode d'addition du compatibilisant.....	24
II-7-7-1 Mélange en une seule étape.....	24
II-7-7-2 Mélange en deux étapes.....	24
II-7-8 Illustration de l'effet de la compatibilisation.....	25
II-7-8-1 Diminution de la tension interfaciale.....	25
II-7-8-2 Stabilisation de la morphologie.....	25
II-7-8-3 Diminution de la taille de la phase dispersée.....	26
II-8 Comparaison des deux méthodes de compatibilisation.....	26
II-9 Miscibilité et thermodynamique des mélanges de polymères.....	27
II-10 Critères pratique de la miscibilité.....	29
II-11 Comportement générale d'un mélange binaire.....	31
II-12 Le Polycarbonate dans les Mélanges de polymères.....	31
II-13 Mélange PC/SAN.....	31
II-14 Miscibilité de l'ABS/PC.....	32
II-15 Morphologie du Mélange PC/SAN.....	32

CHAPITRE III : TRAVAUX DE RECHERCHE

III-1 Travaux de Kolarik et al.....	34
III-2 Travaux de Keitz et al.....	34
III-3 Travaux de Cheng et al.....	36
III-4 Travaux de Liu- Chiang et al.....	36
III-5 Travaux de Tasdemir.....	36

SOMMAIRE

III-6 Travaux de Tjong- Ning et al.....	37
III-7 Travaux de Balakrisnan- Zhang et al.....	37
III-8 Travaux de Cheng et al.....	37
III-9 Travaux de Wong et Col.....	38
III-10 Travaux de Rosch, Horiuchi et al.....	40

CHAPITRE IV : PARTIE EXPERIMENTALE

IV-1 Introduction.....	41
IV-2 Organigramme.....	41
IV-3 Matières utilisées.....	42
IV-3-1 Le Polycarbonate-PC.....	42
IV-3-2 Le Polystyrène-co-acrylonitrile-SAN.....	42
IV-3-3 Le copolymère (Styrène- Ethylène –Butylène- Styrène)-SEBS.....	42
IV-4 Préparation des mélanges.....	43
IV-5 Préparation des films.....	44
IV-6 Préparation des éprouvettes.....	44
IV-7 Méthodes de Caractérisation.....	44
IV-7-1 Mesure de l'indice de fluidité.....	44
IV-7-1-1 Principe de Mesure du (MFI).....	44
IV-7-2 Essai de traction.....	45
IV-7-2-1 Principe.....	45
IV-7-2-2 Appareillage.....	45
IV-7-3 Essai de Choc.....	46
IV-7-4 Teste de la dureté (D).....	46
IV-8-4-Spectroscopie infrarouge (FTIR).....	46
IV-8-5-Analyse calorimétrique différentielle (DSC).....	47

CHAPITRE V : Résultats et discussions

V-1 Propriétés rhéologiques.....	65
----------------------------------	----

SOMMAIRE

V-1-1 L'indice de fluidité	65
V-1-2 Dureté (shore D)	66
V-2 Essai de choc	66
V-3 Propriétés mécaniques.....	71
V-3-1 Test de traction	71
a- Module d'élasticité	
b- Contrainte à la rupture.....	71
c- Déformation à la rupture	72
V-4 Caractérisation par infrarouge.....	78
V-5 Calorimétrie Différentielle à balayage (DSC)	74
Conclusion	84
Perspectives	86
Références bibliographiques	87
Annexe	

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I-1 : Propriétés mécaniques du PC.....9

Tableau I-2 : Les différentes propriétés du PC11

Chapitre II

Tableau II-1 : Comparaison des deux méthodes de compatibilisation 27

Tableau II-2 : Classement caractéristique des mélanges 30

Chapitre IV

Tableau IV-1 : les caractéristiques de polycarbonate (PC) 42

Tableau IV-2 : les caractéristiques de poly (styrène-co-acrylonitrile) 42

Tableau IV-3 : les caractéristiques de SEBS-g-MAH 43

Chapitre V

Tableau V-1 : Bandes caractéristique du polycarbonate (PC) 56

Tableau V-2 : Bandes caractéristique du polystyrène-co-acrylonitrile.....56

ANNEXES

Tableau A : Résultats de test rhéologique (IF) en fonction du taux de PC ou SAN pour les mélanges sans et avec compatibilisant.....74

Tableau B : Résultats de test de la dureté (D) en fonction du taux de PC ou SAN pour les mélanges sans et avec compatibilisant.....74

Tableau C : Résultats de la variation de la résilience en fonction du taux de PC pour les mélanges sans et avec compatibilisant.....75

Tableau D : Résultats de la variation du module d'élasticité en fonction du taux de PC pour les mélanges sans et avec compatibilisant.....75

Tableau E : Résultats de la variation de la contrainte à la rupture en fonction du taux de PC pour les mélanges sans et avec compatibilisant.....76

Tableau F : Résultats de la variation de l'allongement à la rupture en fonction du taux de PC pour les mélanges non traités et traités.....	76
Tableau V-3 : la température de transition vitreuse (T_g) du PC, SAN, et ses mélanges sans et avec compatibilisant SEBS-g-MAH, pour la composition (70/30).....	61
Tableau V-4 : variation de la température de transition vitreuse pour les différentes compositions du mélange PC/SAN sans et avec compatibilisant.....	79

LISTE DES FIGURES

Chapitre I :

- Figure I-1** : Formule chimique du polycarbonate (PC).....6
- Figure I-2** : Schéma de synthèse du PC par polycondensation du Bisphénol A (BPA) avec le phosgène.....6
- Figure I-3** : Schéma de synthèse du PC par transesterification avec carbonate de diphényle... 7
- Figure I-4** : l'évolution de la consommation du PC entre (1990-2005).....8
- Figure I-5** : Répartition de la consommation du PC par secteur d'activités8
- Figure I-6** : Formule chimique du SAN 12
- Figure I-7** : Synthèse du copolymère styrène-co- acrylonitrile 13

Chapitre II :

- Figure II-1** : Interdépendance dans la nomenclature des mélanges polymères 19
- Figure II-2** : Analogie entre émulsifiant traditionnel et copolymère à bloc, en tant qu'espèces actives en surface d'un mélange 21
- Figure II-3** : Représentation schématique de copolymères à l'interface d'un mélange polymérique hétérogène..... 22
- Figure II-4** : Positionnement d'un copolymère dibloc ou tribloc à l'interface 23
- Figure II-5** : Morphologie des mélanges (a)particulaire de 1 dans 2, (b) bicontinue et (c) particulaire de 2 dans 1 24
- Figure II-6** : Illustration du rôle de la présence du compatibilisant à l'interface dans la suppression de la coalescence 26
- Figure II-7** : Illustration de l'influence de l'énergie d'interaction entre polymères Λ_{AB} sur la structure et les propriétés des mélanges. 31
- Figure II-8** : Résistance au choc Izod de mélanges PC-SAN en fonction du taux de PC 32

Chapitre III :

Figure III-1 : Décalage (en %) de la Tg de la phase SAN en fonction des pourcentages du PC et du l'acrylonitrile AN 35

Figure III-2 : Composition des phases riches en SAN et en PC en fonction du taux d'AN dans le SAN 35

Chapitre IV :

Figure IV-1 : Organigramme représente les étapes de travail 41

Figure IV-2 : Structure chimique de poly (styrène-éthylène-butylène-styrène)-SEBS..... 43

Chapitre V :

Figure V-1 : Variation de l'indice de fluidité en fonction du taux de PC pour les mélanges (PC/SAN) sans et avec l'agent compatibilisant SEBS-g-MAH 50

Figure V-2 : Variation de dureté en fonction du taux de PC pour les mélanges PC/SAN sans et avec compatibilisant SEBS-g-MAH 51

Figure V-3 : Variation de la résilience en fonction du taux de PC pour les mélanges PC/SAN sans et avec compatibilisant SEBS-g-MAH.....52

Figure V-4 : Variation du module d'élasticité en fonction du taux de PC pour les mélanges PC/SAN sans et avec compatibilisant SEBS-g-MAH. 54

Figure V-5 : Variation de la contrainte à la rupture en fonction du taux de PC pour les mélanges PC/SAN sans et avec compatibilisant SEBS-g-MAH.....55

Figure V-6 : Variation de la déformation à la rupture en fonction du taux de PC pour les mélanges PC/SAN sans et avec compatibilisant SEBS-g-MAH.....55

Figure V-7 : les spectres FTIR pour le PC (100%), SAN (100%), et SEBS.....58

Figure V-8 : les spectres FTIR de différente composition du mélange PC/SAN : a) 0/100 ; b) 10/90 ; c) 20/80 ; d) 30/70 ; e) 100/058

Figure V-9 : les spectres FTIR de différente composition du mélange PC/SAN : a5) 10/90/5 ;

LISTE DES FIGURES

B5) 20/80/5 ; c5) 30/70/5	59
Figure V-10 : les spectres FTIR de différente composition du mélange PC/SAN/SEBS : a10) 10/90/10 ; B10) 20/80/10 ; c10) 30/70/10.....	59
Figure V-14 : La température de transition vitreuse (Tg) du PC vierge.....	61
Figure V-15 : La température de transition vitreuse (Tg) du SAN vierge.....	62
Figure V-16 : La température de transition vitreuse (Tg) du mélange PC/SAN (70/30).....	62
Figure V-17 : La température de transition vitreuse (Tg) du mélange PC/SAN (70/30) avec 5% de SEBS-g-MAH.....	63
Figure V-18 : La température de transition vitreuse (Tg) du mélange PC/SAN (70/30) avec 10% de SEBS-g-MAH.....	63

ANNEXES

Figure V-11 : les spectres FTIR de différente composition du mélange PC/SAN : PC, SAN, a-(10/90), b-(20/80), c-(30/70), d-(50/50), e-(70/30), f-(80/20), g-(90/10).....	77
Figure V-12 : les spectres FTIR de différente composition du mélange PC/SAN/SEBS-g-MAH : a5-(10/90/5), b5-(20/80/5), c5-(30/70/5), d5-(50/50/5), e5-(70/30/5), f5-(80/20/5), g5-(90/10/5).....	77
Figure V-13 : les spectres FTIR de différente composition du mélange PC/SAN/SEBS-g-MAH : a10-(10/90/5), b10-(20/80/5), c10-(30/70/5), d10-(50/50/5), e10-(70/30/5), f10-(80/20/5), g10-(90/10/5).....	78

LISTE D'ABREVIATIONS

<u>Symbole</u>	<u>Désignation</u>
PC	Polycarbonate
BPA	Bisphénol A
SAN	copolymère styrène-acrylonitrile
AN	acrylonitrile
ABS	Terpolymère acrylonitrile- butadiène-styrène
PS	polystyrène
ASA	acrylonitrile- styrène -acrylate
PVME	poly (vinyl-methyl-ether)
PVC	poly (chlorure de vinyle)
PE	poly (éthylène)
PP	poly (propylène)
PET	polyéthylène téréphtalate
SEBS-g-MAH	Styrene-Ethylene –Butylene –Styrene greffée par l' Anhydrid Maleique
PA66	polyamide 66
PMMA	Poly (méthacrylate de méthyle)
PBT	Polybutylène téréphtalate
POM	Polyoxyméthylène
PP-g-MA	Polypropylène-greffé-anhydride maléïque
SBS	Styrène butadiène styrène
SMA	Styrène-anhydride maléïque
T _g	Température de transition vitreuse
MBS	Méthyle méthacrylate butadiène styrène
MFI	indice de fluidité
FTIR	Infrarouge à transformée de Fourier
DSC	Differential Scanning Calorimetry
ΔG_m	l'énergie libre
ΔH_m	l'enthalpie de mélange
ΔS_m	l'entropie de mélange
T	la température
χ_{AB}	paramètre d'interaction.

Introduction :

La réalisation de mélanges de polymères apparaît depuis quelques années comme un moyen d'accéder à des matériaux offrant des propriétés souvent inaccessibles par la synthèse directe d'homopolymères ou de copolymères. Depuis le début des années 1980, le nombre de mélanges de polymères commercialisés n'a cessé de croître alors que pendant la même période, très peu de nouveaux polymères de base sont apparus. Cette croissance des mélanges repose essentiellement sur des raisons économiques, la structure industrielle requise pour leur production étant plus légère que celle requise pour la production mélanges polymérique. Dans son principe même, la mise au point de mélanges permet souvent de mieux approcher le rapport performance/coût nécessaire aux applications [1].

Les mélanges de polymères constituent actuellement un point fort de l'innovation et du développement dans le domaine des matériaux plastiques [2]. La réalisation de mélanges à partir de polymères existants est moins coûteuse que de synthétiser un polymère inconnu à partir d'un nouveau monomère. De plus, les procédés sont en général assez simples (extrusion, mélangeur interne, injection,...), et les mélanges de polymères sont très intéressants car leurs propriétés dépendent des polymères parents, propriétés que l'on peut donc faire varier avec la composition du mélange. Il faut toutefois préciser que la réalisation de ces mélanges peut s'avérer complexe. En effet, peu de polymères sont totalement miscibles. Aujourd'hui, nous savons que des polymères partiellement miscibles peuvent fournir d'excellentes propriétés de mélange, dues à une synergie particulière entre ces polymères. Ces propriétés dépendront alors de l'état de dispersion de la phase minoritaire et de l'interface entre les composants.

Dans le cas des mélanges incompatibles, les interfaces des phases constituent un facteur important des propriétés du matériau. L'amélioration des propriétés du matériau fait appelle à un troisième constituant appelé compatibilisant qui va induire :

- une réduction de la tension interfaciale (assure le lien entre A et B).
- une meilleure dispersion pendant le mélange (homogène)

- une stabilisation de la morphologie (pas de séparation de phase).
- une amélioration de l'adhésion interfaciale.

Le mélange Polycarbonate (PC)/Poly (styrène-co-acrylonitrile) (SAN) présente un intérêt tout à fait particulier car, présente des propriétés et des structures assez proche des deux polymères.

Dans le présent travail, différents mélanges à base de polycarbonate et de polystyrène acrylonitrile ont été préparés, l'évolution de ces propriétés en fonction de la composition du mélange et taux de l'agent compatibilisant SEBS-g-MAH a été déterminée.

Les effets de compatibilisation (due à l'agent compatibilisant) sur les différentes propriétés des mélanges ont été suivis par des études rhéologiques (indice de fluidité), mécaniques (dureté ; propriétés en traction; résistance au choc) et thermique (DSC), et spectroscopique (IRTF).

Ce manuscrit est présenté en deux parties : partie théorique et partie expérimentale : Dans la partie théorique nous avons développé trois chapitres ; le premier a porté sur la présentation des matières premières utilisées (PC et SAN). Le deuxième chapitre, est consacré à la présentation des mélanges polymériques (introduction, définition, l'intérêts des mélanges, différents types de mélange, méthode de préparation des mélanges...etc.), et le troisième a résumé quelques travaux de recherches concernant les mélanges de polymères.

Dans la partie expérimentale nous avons développé les différentes analyses effectuées et discuté les résultats trouvés.

I- Problématique :

Les polymères généralement disponibles ne sont pas suffisants pour répondre aux exigences de plusieurs secteurs. Il est alors nécessaire de développer de nouveaux matériaux présentant des propriétés exceptionnelles et avec une grande facilité de mise en œuvre, ce choix repose sur le fait que les plastiques présentent des avantages décisifs par rapport à d'autres matériaux classiques tels que les métaux. Or, la plupart de ces domaines d'applications requièrent des matériaux qui combinent plusieurs propriétés [2].

Le développement d'un nouveau matériau polymère peut se faire selon deux stratégies : d'une part, imaginer et synthétiser une nouvelle molécule dotée des performances recherchées ; d'autre part associer les avantages de polymères existants pour concevoir un matériau présentant une synergie de propriétés. La première voie n'est pas nécessairement la plus suivie, de ce fait, beaucoup de polymères de commodité ou techniques que nous utilisons ont été synthétisés avant les années 1980. Le développement d'un nouveau polymère, sa synthèse à l'échelle industrielle, la mise au point des procédés de transformation adéquats sont des étapes longues et difficiles. La seconde voie consiste à mélanger ou à associer des polymères connus pour en combiner les propriétés, à l'instar des métallurgistes qui obtiennent des alliages dotés de propriétés nouvelles en mélangeant différents métaux. Un exemple typique de tels produits, est le système Polycarbonate/polystyrène-co-acrylonitrile qui est partiellement miscible [3].

Malheureusement, il ne suffit pas de mélanger deux polymères pour obtenir un matériau intéressant doté de propriétés inédites. En effet à quelques exceptions près, il n'est pas possible de mélanger à l'échelle moléculaire deux polymères A et B. Ces derniers se séparent inéluctablement en domaines de taille macroscopique, séparés par des interfaces faibles. Le matériau obtenu est en général plus mauvais que les polymères de départ pris séparément. Ces situations fortes désagréables sont souvent surmontées si le processus de préparation d'un mélange faisait appel à l'une des méthodes de compatibilisation. La méthode classique consiste à ajouter un copolymère séquencé ou greffé, appelé communément agent interfacial qui joue le rôle de connecteur moléculaire grâce à ces enchevêtrements de part et d'autre de l'interface.

L'addition de l'agent compatibilisant aux mélanges joue un grand rôle dans la diminution de la tension interfaciale, dans l'amélioration de l'adhésion entre les deux phases des polymères

individuelles et dans la stabilisation de la morphologie du mélange, mais la manière d'introduire cet agent dans la matrice, ou d'une autre façon, la procédure du mélangeage des polymères avec le compatibilisant présent un effet considérable sur la morphologie et les différents propriétés du mélange.

L'étude des systèmes polymérique binaires avec l'utilisation des agents compatibilisants, surtout pour les mélanges polycarbonate/polystyrène acrylonitrile, et la combinaison des propriétés des systèmes, ternaires et quaternaires en présence des compatibilisants est une étude récent et très peu utilisée à cause de la complexité de ce système, qui demande des techniques de caractérisation spécifique pour mieux éclaircir le comportement des phases de ces mélanges.

Chapitre I :

Les Matières Premières

Chapitre I : les Matières Premières

I-1 Introduction

Les polymères occupent une place de plus en plus importante dans notre société et sont de plus en plus utilisés, bien que la tendance s'atténue avec les problèmes environnementaux actuels (diminution du nombre de sacs plastiques...) ou les technologies nouvelles (préférence des textiles pour la création de voitures ou d'avions...). Ils sont présents dans notre vie de tous les jours, composent quasiment la totalité des emballages commerciaux, et sont d'une manière générale très utilisés dans toute pièce industrielle, le développement des matériaux polymères dans des domaines à fortes valeurs ajoutées comme l'emballage alimentaire, l'industrie automobile et aérospatiale, le secteur médical, ainsi que celui de l'électronique et l'optique, les polymères généralement disponibles ne sont pas suffisants pour répondre aux exigences de ces secteurs [4]. Il est alors nécessaire de développer de nouveaux matériaux présentant des propriétés exceptionnelles et avec une grande facilité de mise en œuvre. Ce choix repose sur le fait que les plastiques présentent des avantages décisifs par rapport à d'autres matériaux classiques tels que les métaux. Or, la plupart de ces domaines d'applications requièrent des matériaux qui combinent plusieurs propriétés [5].

I-1-1 Historique du Polycarbonate

La découverte du polycarbonate (PC) remonte à 1898, trouvé par hasard par le chimiste allemand Alfred Einhorn (1896-1917). Mais, c'est en 1953 que le polycarbonate prend son essor grâce à la mise au point par les chimistes allemands Schnell (1916-1999), Bottenbruch et Krimm au sein de la société Bayer du polycarbonate dénommé « Makrolon® ». Parallèlement le chimiste américain Daniel W. Fox (1927-1989) brevète le polycarbonate Lexan® au sein de la société GE Plastics (une division de General Electric) [6].

I-1-2 Présentation du PC

a- Structure du PC

Le polycarbonate est un polymère thermoplastique largement utilisé dans de nombreux domaines d'application, du fait de ses diverses propriétés telles que sa transparence, sa stabilité thermique et sa résistance à l'impact. Il existe deux types de polycarbonate (PC) : les

Aliphatiques et les aromatiques. Ces dernières sont les plus communs et sont dérivés de bisphénol A [7].

La formule chimique du PC est :

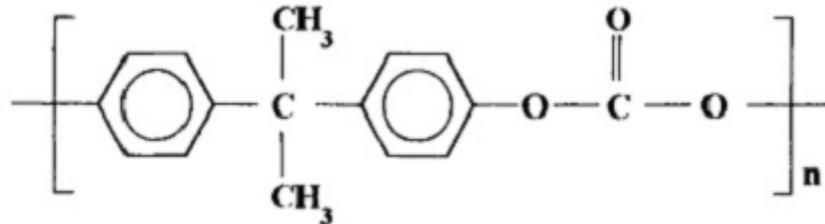


Figure I.1 : Formule chimique du polycarbonate (PC) [7].

I-1-3 Synthèse du Polycarbonate

Il existe deux types de polycarbonate (PC) : les aliphatiques et les aromatiques. Ces derniers sont les plus communs et sont dérivés du bisphénol A.

Le polycarbonate est obtenu par synthèse du bisphénol A et du phosgène. Deux méthodes sont possibles pour fabriquer le PC [8].

a- la polycondensation

C'est la méthode la plus répandue. 95% des polycarbonates sont produits par cette chimie de polymérisation (**figure I.2**). Une solution aqueuse de bisphénol A et de soude réagit avec du phosgène. L'usage du phosgène doit être contrôlé pour limiter le coût de la production de PC.

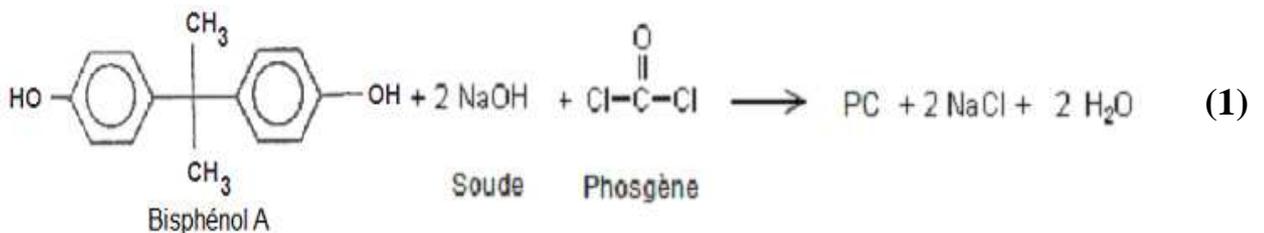


Figure I.2 Schéma de synthèse du PC par polycondensation du Bisphénol A (BPA) avec le phosgène [7].

Le PC ainsi obtenu est amorphe avec une température de transition vitreuse autour de 150°C.

b. La Transestérification

C'est une méthode qui fait intervenir le bisphénol A avec du carbonate de diphényle, en présence de catalyseur et à chaud (150 à 350°C), la méthode est donnée sur le schéma de la (figure I.3) ci-dessous :

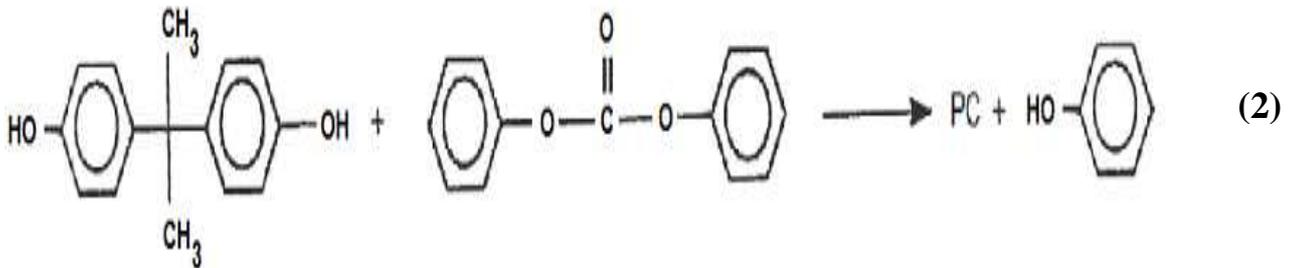


Figure I.3 : schéma de synthèse du PC par transestérification [8].

I-1-4 Mise en œuvre du Polycarbonate

Le polycarbonate peut se mettre en œuvre par injection, extrusion, thermoformage et surmoulage. Avant toute mise en œuvre [9], le PC doit être étuvé à 120°C pendant au moins 4 heures .

L'injection-moulage se fait à des températures comprises entre 280°C et 320°C. La température du moule se situe entre 80 et 120°C. Le profil de température en extrusion est décroissant le long de la vis, de 300 à 270°C.

I-1-5 Le marché du Polycarbonate

a. Un important développement de la consommation mondiale au cours de la dernière décennie

La consommation mondiale de polycarbonates est croissante : de 0,47 million de tonnes en 1987, elle atteint 1,3 million de tonnes en 1998 dont 15 % d'alliages puis de 2,7 millions de tonnes en 2005 [10].

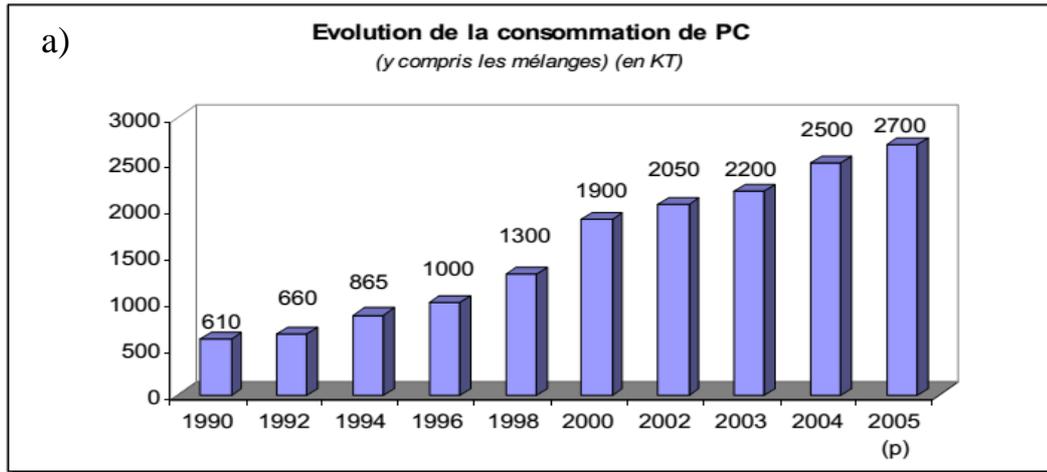


Figure I.4 : l'évolution de la consommation du PC entre (1990-2005) [11].

La répartition de la consommation du PC par secteur d'activités en 2009 se faisait ainsi selon la (figure I-4) présenter ci-dessous

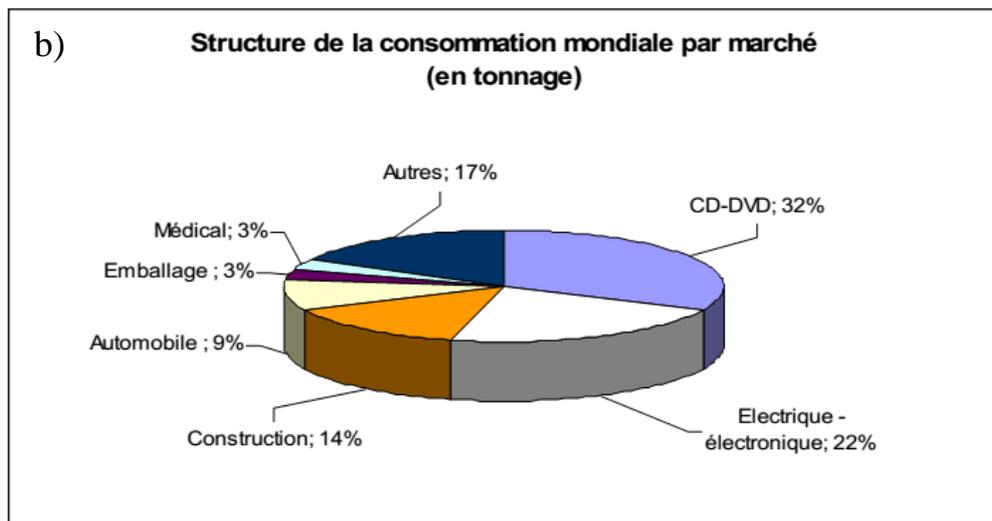


Figure I.5 : Répartition de la consommation du PC par secteur d'activités [11].

I-1-6 Les Propriétés du polycarbonate

a- Propriétés physiques

La très grande transparence de cette matière est exploitée pour la fabrication de verres optiques, des CD et DVD, des lentilles de caméras thermiques (caméras infrarouge) ou encore de

vitres de phares automobiles. En forte épaisseur, il possède une légère teinte jaune. La plupart des propriétés physiques de PC sont présentes ci-dessous :

- ✚ Excellente transparence
- ✚ Polymère à haut poids moléculaire

b- Propriétés Mécaniques

Le PC est utilisé essentiellement pour sa dureté, sa très grande résistance aux chocs et sa transparence, les propriétés mécaniques du PC sont en fonction de la structure moléculaire, de la masse molaire, des groupes terminaux, des méthodes de fabrication et du vieillissement physique .

Ces principales propriétés mécaniques sont résumées dans le Tableau suivant :

Tableau I-1 : Propriétés mécaniques du PC [12].

Module d'Young (MPa)	Contrainte maximale (MPa)	Elongation maximale (%)	Résistance au choc entaillée (KJ/m²)
2300-2400	62-65	110	850

c- Propriétés Chimiques

Le PC est sensible à l'hydrolyse, et résistant à l'eau jusqu'à 60°C. Les composés chimiques qui dégradent le PC sont les cétones, les acides concentrés, les hydrocarbures aromatiques et halogénés, et les bases fortes. Le polycarbonate est insensible aux acides dilués, aux alcools, aux graisses, aux huiles, et aux hydrocarbures aliphatiques [13].

d- propriétés électriques

La permittivité relative du PC reste quasi inchangée entre -20°C et +140°C, c'est-à-dire dans tout l'intervalle des températures d'utilisation des polycarbonates. Cependant, la permittivité relative baisse légèrement lorsque la fréquence augmente. Les polycarbonates sont d'excellents isolants dans tout l'intervalle de température dont relèvent les applications pratiques [14].

e- Les propriétés thermiques

Le polycarbonate présente trois transitions thermiques :

- ✚ Tenue thermique excellente.
- ✚ Bonne propriétés diélectrique et électrique.
- ✚ la transition δ associée aux mouvements internes de motifs PC, se situant vers - 100°C. La température de transition vitreuse T_g , se trouve dans le domaine de température : 140 à 150°C.

f- Propriétés dimensionnelle

Comme tous les polymères amorphes, le PC offre un retrait limité au démoulage (inférieur à 0,6 %). Sa faible reprise d'humidité lui assure une bonne stabilité dimensionnelle en ambiance humide. Le PC a une bonne tenue au fluage surtout quand il est renforcé de fibres de verre.

I-1-7 Les Avantages et les inconvénients du polycarbonate

Le polycarbonate offre de nombreuses caractéristiques remarquables :

a- 1 Les Avantages

- ◆ Grande résistance à la chaleur, ce qui le rend parfait pour les applications nécessitant une stérilisation.
- ◆ Bonne stabilité dimensionnelle qui lui permet de conserver sa forme dans diverses conditions.
- ◆ Mise en œuvre par toutes les techniques.
- ◆ Bonnes propriétés d'isolation électrique.
- ◆ Inertie biologique.
- ◆ Facilité de recyclage.
- ◆ Facilité de traitement.
- ◆ Alimentaire.

b- Inconvénients

- ◆ Prix élevé
- ◆ Mise en œuvre à haute température et haute pression
- ◆ Tenue chimique (hydrocarbures aromatiques, lessives basiques)
- ◆ Hydrolysable au dessus de 60°C

Le tableau ci-dessous résume les différentes propriétés du (PC) :

Tableau I-2 : Les propriétés du PC [12-13].

Propriétés	Valeur moyenne	Norme
Mécaniques		
Résistance à la rupture (MPa)	65	ISO 527
Allongement à la rupture (%)	100	ISO 527
Module en traction (MPa)	2 350	ISO 527
Résistance à la flexion (MPa)	90	ISO 178
Module en flexion (MPa)	2 300	ISO 178
Dureté à l'empreinte (MPa)	95	ISO 2039-1
Comportement au choc (Résistance au choc IZOD)		
Entaillé (kJ/m ²)	12	ISO 180
Non entaillé (kJ/m ²)	NC	ISO 180
Thermiques		
Vicat B120 (°C)	140	ISO 306
HDT sous 1,81 MPa	122	ISO 75
HDT sous 0,45 MPa	133	ISO 75

I-2-7 Les Applications du PC

Grâce à ces caractéristiques, le polycarbonate convient pour de nombreuses applications :

- ✚ Electronique et électrotechnique (douilles de lampes, interrupteur de sécurité)

- ✚ Transports (éclairage intérieur) ;
- ✚ Cartes de protection, guichets ;
- ✚ Matériel stérilisable (bacs chirurgicaux, biberon) ;
- ✚ Eclairage (vitrage de sécurité) ;
- ✚ Bureautique (capotage de machine à écrire) ;
- ✚ Article de ménagers et d'usage courant : boîtes de rasoirs, pièces de robot de cuisine.

I-2 Le Poly (Styrene-co-Acrylonitrile) (SAN)

I-2-1 Présentation du SAN

Le copolymère **styrène-acrylonitrile (SAN)** : est issu du styrène et de l'acrylonitrile (AN). Ce matériau thermoplastique semi-technique fait partie de la famille des styréniques, comme le polystyrène homopolymère (PS « cristal »), le « PS-choc » ou copolymère « bloc » styrène-butadiène (SB) [15], l'acrylonitrile butadiène styrène (ABS), l'acrylonitrile styrène acrylate (ASA), etc. Il est très rigide et plus dur que le PS. Le SAN est produit depuis le début des années 1950 [16]. Les principaux producteurs de SAN sont Styron, Styrolution et Polimeri Europe

I-2-2 Structure du SAN

La formule moléculaire du SAN suit le schéma de la figure I-5

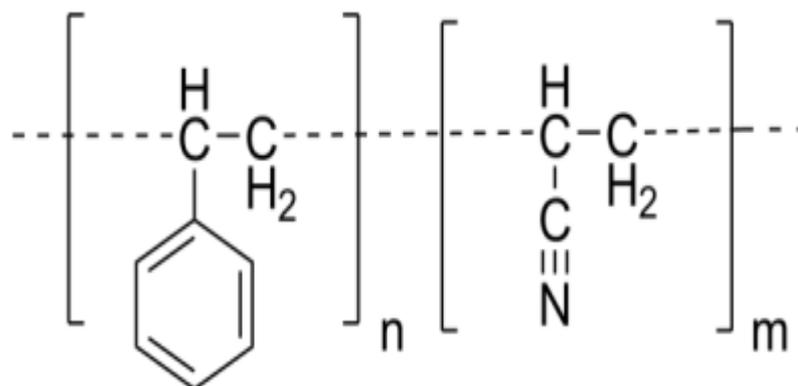


Figure I-6 : Formule chimique du SAN [17].

I-2-3 Synthèse du SAN

Le **Styrène acrylonitrile (SAN)** est un copolymère préparé à partir des monomères de styrène et d'acrylonitrile. Le polymère peut être produit par la polymérisation en émulsion, en masse ou bien en solution. Le styrène acrylonitrile contient généralement entre 20 et 30 % d'acrylonitrile. La teneur d'acrylonitrile dans la composition du SAN influence ses propriétés finales telles la Résistance à la traction, l'élongation, la température ainsi que la chaleur de déformation. Ces propriétés augmentent avec l'augmentation de la quantité d'acrylonitrile dans le copolymère. Le copolymère de SAN est un matériau linéaire, amorphe avec une bonne résistance thermique, supérieure à celle du polystyrène pur. Le SAN est un polymère transparent mais qui peut avoir une couleur jaune à mesure que le contenu en acrylonitrile augmente [18].

la synthèse du copolymère de styrène acrylonitrile suit le schéma de la figure I.



Figure I-7 : synthèse du copolymère de styrène acrylonitrile [19].

I-2-4 Mise en œuvre du SAN

Avant toute mise en œuvre, le SAN, légèrement hygroscopique, doit être étuvé à 100°C pendant 24h [20]. Le SAN peuvent se mettre en forme par extrusion, injection, thermoformage et par soufflage. En injection-moulage, les températures sont comprises entre 230°C et 320°C. La température du moule doit être comprise entre 40°C et 70°C. En extrusion, la température de travail se situe dans la gamme 230°C – 250°C en sortie de filière.

I-2-5 Propriétés du Poly (styrène-co-acrylonitrile (SAN))

Parmi les principales propriétés du styrène-acrylonitrile (SAN), on trouve :

- une haute transparence
- une meilleure tenue chimique et thermique que le PS.

- une rigidité et une dureté de surface plus élevées et une meilleure résistance aux rayures que le PS,

-Le SAN est une matière transparente très semblable au polystyrène (PS) mais qui présente des caractéristiques complémentaires de résistance aux rayures le rend adapté aux présentoirs des points de vente et aux articles cosmétiques.

-Le SAN est également disponible dans différentes variantes de teinte bleue. Des grades stables aux UV sont également disponibles, puisque le SAN standard n'est pas approprié pour un usage à l'extérieur.

I-2-6 Les applications du styrène-acrylonitrile (SAN)

Les applications typiques du SAN sont les suivantes :

- pièces de réfrigérateurs
- séparateurs d'étagères
- protections de lampes
- conditionnements de produits cosmétiques
- ustensiles de cuisine.

Chapitre II

Les mélanges de polymères

II-1 LES MELANGES DE POLYMERES

Le développement des mélanges de polymères comme nouveaux matériaux est devenu de plus en plus important dans l'industrie. Cependant, la plupart des mélanges sont incompatibles du fait des tensions d'interface élevées qui génèrent une mauvaise adhésion des phases [20].

II-2 Définition des Mélanges Polymériques

On appelle un mélange de polymère tout mélange d'au moins deux polymères ou copolymères. Ces polymères peuvent être miscibles ou non miscibles [21]. Ce sont des mélanges de polymères de natures chimiques différentes. Ils obéissent principalement à des systèmes pluriphasiques dont la structure dépend de la composition et des conditions de transformation. Ils peuvent être classifiés suivant leur miscibilité et la méthode de préparation [22].

II-3 L'importance des mélanges de polymères

Le mélange des polymères donne des matériaux exhibant des bonnes propriétés mécanique électriques et thermique, offrent également l'opportunité pour l'obtention d'une large gamme de caractéristiques et de propriétés en modifiant seulement la composition des polymères combinés. Il offre aussi des bénéfices économiques ; (c'est une nécessité pour plusieurs polymères techniques, soit pour améliorer leur processabilité ou leur résistance au choc). les objectifs essentiels des matériaux obtenus par l'intermédiaire des mélanges de polymères sont de répondre à plusieurs exigences nécessaires pouvant être liées soit aux produits soit aux producteurs [22].

Les raisons liées à la préparation d'un mélange bien déterminé consistent en:

- Développement d'un matériau répondant à des exigences précises ;
- Elargissement de performance d'un polymère technique en le mélangeant avec un polymère moins cher ;
- L'amélioration d'une propriété spécifique ;
- Ajustage de la composition du mélange selon les spécifications du client ;
- Recyclage des rebuts industriels.

Par ailleurs, les raisons liées aux producteurs se résument essentiellement en:

- Une meilleure transformabilité et uniformité du produit,
- La réduction du nombre de grades devant être stockés ou produits et de ce fait, des économies énormes peuvent être faites sur l'espace et le capital investi [23].

II-4 Utilisations des mélanges dans l'industrie

À l'origine, l'objectif des mélanges était d'améliorer une propriété donnée de la matrice, le plus souvent sa résistance aux chocs. Actuellement, de nouveaux enjeux se développent, tels que la réduction des coûts (dilution d'un polymère technique coûteux), la réponse à un cahier des charges donné avec le meilleur rapport propriétés/coût, la diminution du nombre de grades à produire et des stocks ou encore l'amélioration d'une propriété (processabilité, tenue thermique, résistance mécanique ou chimique). Comme nous l'avons vu au chapitre précédent, les mélanges de polymères peuvent également constituer une voie intéressante pour le recyclage des polymères.

De nos jours, les mélanges représentent quelques 30% de la consommation mondiale de matières plastiques. Cette part est en constante augmentation de près de 10% depuis plus de 10 ans [24].

II-5 Comment concevoir un mélange de polymère ?

Pour concevoir un mélange de polymères ayant les propriétés désirées, plusieurs facteurs doivent être pris en considération :

Étape 1 : Définir les propriétés physiques et chimiques que le mélange idéal doit avoir.

Étape 2 : Sélectionner les polymères qui peuvent présenter ces propriétés.

Étape 3 : Tabuler les avantages et les inconvénients des polymères sélectionnés.

Étape 4 : De la liste des polymères candidats, sélectionner ceux qui assurent le plus la complémentarité des propriétés.

Étape 5 : Déterminer la miscibilité des polymères sélectionnés et/ou utiliser la méthode de les rendre compatibles.

Etape 6 : Examiner l'aspect économique, le prix des polymères, le coût de compatibilisation de maintenance....etc. Si le coût est élevé, se revenir à l'étape 4 et sélectionner d'autres polymères.

Etape 7 : Définir la morphologie idéale qui assure la performance optimale du produit fini.

Etape 8 : Sélectionner les propriétés rhéologiques des composants du mélange, concentration des ingrédients, quantité des compatibilisants.

Etape 9 : Déterminer la méthode de stabilisation de la morphologie, par exemple celle de cristallisation, réaction chimique...etc.

Etape 10 : Sélectionner la méthode optimale de fabrication qui assure la morphologie finale. Si la morphologie ne s'accorde pas avec l'optimum, revenir à l'étape 8 [25].

II-6 Types des mélanges de polymères

Il existe plusieurs types de mélanges de polymères et/ou copolymères : les systèmes homogènes obtenus à partir de polymère miscible, les systèmes hétérogènes obtenus à partir de polymères non miscible et les systèmes obtenus par mélange de polymères partiellement miscibles. Les mélanges de polymères peuvent consister en deux phases continues ou en une phase continue et une phase dispersée dans la première [26].

On peut constater que, du point de vue miscibilité et compatibilité, il est possible de diviser les mélanges de polymères en quatre groupes :

II-6-1 Mélanges miscible

C'est un mélange de polymère qui se comporte comme un système monophasé à l'échelle moléculaire. Son comportement est celui d'un homopolymère. Ses propriétés varient avec la composition suivant une loi de mélange simple. La miscibilité dépend de la nature des chaînes, de leur longueur, de leur concentration ainsi que de la température de fusion de chacune. On peut citer quelques exemples de mélanges miscibles. Le PS avec le PVME (polystyrène/polyvinylmethylether) et le PVC avec le PBT [27].

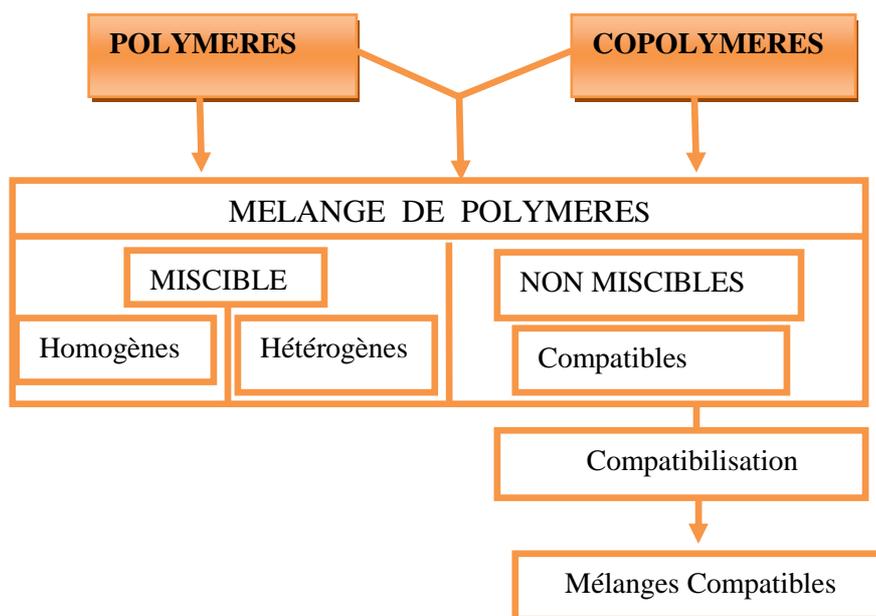


Figure II-1 : Interdépendance dans la nomenclature des mélanges polymères [27].

II-6-2 Mélange de polymères partiellement miscibles

Ce sont les mélanges dont la miscibilité mutuelle correspond seulement à certains rapports. On peut citer à titre d'exemple le mélange (PC/SAN) et le polystyrène avec le Polycarbonate (PS/PC) [28].

II-6-3 Mélanges de polymères totalement incompatibles

Cette incompatibilité des composants est due soit à la structure chimique complètement différente, comme dans le cas du mélange PVC/PE, soit à la masse molaire relative très élevée. L'incompatibilité des composants provoque la formation d'une structure polyphasique composée de grosses particules ou plutôt de petits domaines ayant une mauvaise adhésion interfaciale. Une telle structure donne généralement des propriétés mécaniques médiocres [29].

II-6-4 Mélange de polymères compatibles

Il s'agit d'un groupe de mélanges de polymères mutuellement non miscibles mais compatibles de telle sorte qu'un malaxage convenable permet de former des structures, dont la taille des domaines de phases miscibles est inférieure aux domaines de phases des

Polymères incompatibles. Les propriétés mécaniques, surtout la résistance aux chocs, sont améliorées grâce aux forces d'adhésion interfaciales [30].

II-7 Compatibilité et Miscibilité des Mélanges

II-7-1 Compatibilisations des mélanges de polymères

C'est un procédé physique ou chimique, modifiant les propriétés interfaciales des mélanges de polymères non miscibles, et la compatibilisation d'un mélange de polymères immiscibles est de loin la méthode la plus appropriée pour la conversion d'un système hétérophasique en un alliage hautement performant, caractérisé par des propriétés stables et reproductibles. Aussi, puisque les performances d'un matériau dépendent non seulement de ses constituants et de leurs concentrations mais, aussi de la morphologie.

Différents auteurs ont fait le point à un instant donné sur les méthodes utilisées pour la compatibilisation des mélanges de polymères [31-32]. L'étude de ces articles permet de se faire une idée de l'origine des voies de compatibilisation et de leur développement dans le temps.

II-7-2 Objectifs de la Compatibilisations

Les fonctions essentielles que doit remplir une compatibilisation sont généralement les suivantes:

- 1) La réduction de la tension interfaciale qui constitue le principal obstacle à l'obtention d'un degré de dispersion idéal et conduit à des systèmes instables. La compatibilisation a donc pour rôle d'engendrer une dispersion fine de la phase dispersée dans la matrice polymérique,
- 2) Garantir que la morphologie générée ne soit pas détruite durant les procédés ultérieurs de transformation,
- 3) Augmenter l'adhésion entre les différentes phases pour un transfert de contraintes très efficace entre elles. Ceci permet de prévenir la rupture catastrophique des défauts initiés au niveau de l'interface [33-34].

En fonction de la méthode de compatibilisation choisie et du type de compatibilisant utilisé, chacun des trois objectifs cités ci-dessus peut être plus ou moins bien atteint [35].

II-7-3 Les méthodes de compatibilisation

Pour parvenir à une bonne compatibilisation, il faudrait être en mesure d'améliorer l'adhésion entre les phases ainsi que diminuer la taille des nodules, pour cela les stratégies de compatibilisation des mélanges de polymères sont différentes et leur choix est intimement lié à la structure des matériaux mélangés et à l'existence de l'équipement adéquat pour la réalisation du mélange désiré. De façon globale, la compatibilisation d'un système de polymères peut être achevée par deux voies essentielles:

- 1) l'ajout d'un copolymère préformé, de nature et de structure adaptée, susceptible d'interagir avec chacune des phases en présence ;
- 2) la formation in-situ d'un copolymère par réaction chimique à l'interface entre les phases au cours de la préparation du mélange.

Ces deux techniques sont décrites plus en détails dans les paragraphes suivants

II.7.3.1 La compatibilisation non réactive (Utilisation d'un copolymère préformé) :

Cette voie de compatibilisation est similaire à l'utilisation des surfactants traditionnels pour la préparation et la stabilisation des émulsions liquide/liquide (**figure II-2**).

Pour jouer son rôle, le copolymère doit venir se positionner à l'interface entre les deux phases

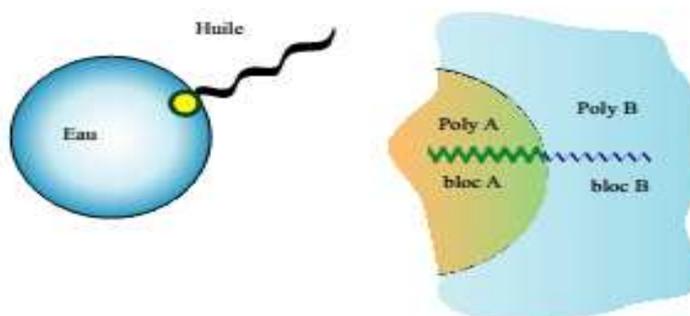


Figure II-2: Analogie entre émulsifiant traditionnel et copolymère à bloc, en tant qu'espèces actives en surface d'un mélange [35].

Par analogie, un copolymère pourra être utilisé comme compatibilisant, s'il peut présenter des interactions avec chacune des phases en présence. De fait, la nature chimique, l'architecture et la composition du copolymère jouent un rôle sur son effet émulsifiant, et (La figure II-3), montre que le compatibilisant doit migrer vers l'interface

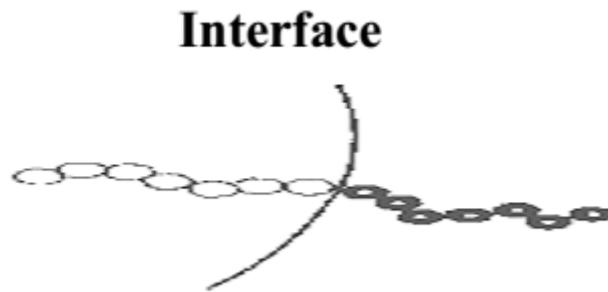


Figure II-3: Représentation schématique de copolymères à l'interface d'un mélange polymérique hétérogène [36].

Ce copolymère doit être synthétisé de façon à :

- Maximiser la miscibilité de ses segments avec les constituants du mélange,
- Minimiser son poids moléculaire de façon à avoir une valeur juste suffisante pour permettre de créer des interactions,
- Incorporer une quantité suffisante pour compatibiliser le système et réduire au maximum la possibilité de formation de micelles.

II-7-3-2 La compatibilisation réactive (in-situ)

Le principe de cette méthode de compatibilisation est la formation in-situ de l'agent émulsifiant à l'interface entre les phases par réaction de couplage entre des chaînes macromoléculaires réactive.

II-7-4 Effet du taux de copolymère

Théoriquement, quelques pourcents de copolymère dibloc symétrique suffisent pour compatibiliser un mélange de polymères immiscibles [37].

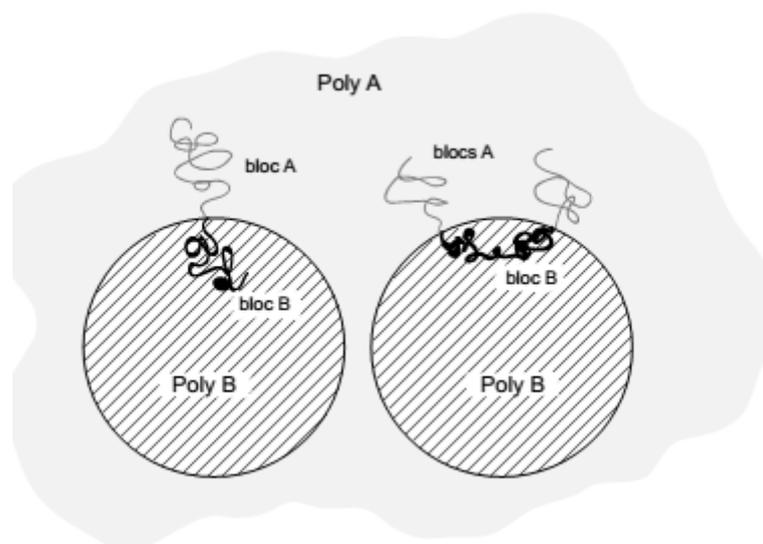


Figure II-4: Positionnement d'un copolymère dibloc ou tribloc à l'interface [37].

Expérimentalement, la taille des particules de phase dispersée a tendance à diminuer quand le taux de copolymère ajouté dans le milieu augmente, puis se stabilise ou augmente en fonction de la nature du copolymère [38]. Cependant, quelques pourcents en poids de copolymère dibloc symétrique sont suffisants pour diminuer fortement la taille moyenne des domaines de phase dispersée [39], ceci a également été montré théoriquement [40]. Cette quantité n'est pas forcément suffisante pour stabiliser le mélange. Il a été estimé que 5% et 20% de la surface des particules doivent être recouverts pour supprimer respectivement la coalescence en dynamique et la coalescence en statique. Parfois, un taux de copolymère plus important est nécessaire. Les écarts observés entre théorie et expérience résultent de deux phénomènes superposés :

- Les chaînes de copolymère doivent diffuser vers l'interface. La cinétique de diffusion dépend de la viscosité du milieu mais aussi de la longueur des chaînes de copolymère.
- Il est possible que des micelles de copolymère se forment dans l'une ou l'autre des phases.

II-7-5 La Morphologie des mélanges de polymères

La morphologie des mélanges de polymères dépend de la répartition des phases, de leurs tailles, ou encore de leurs aspects. Il faut noter que cette dernière évolue continuellement en fonction des proportions du mélange.

Dans le cas des mélanges immiscibles après mise en œuvre à l'état fondu, trois types de morphologies peuvent être distinguées.

- ✚ Une morphologie particulaire où le polymère 1 est dispersé dans le polymère 2.
- ✚ Une morphologie bicouche où les phases 1 et 2 sont interconnectées.
- ✚ Une morphologie particulaire, mais correspondant cette fois à la dispersion du polymère 2 dans le polymère 1.

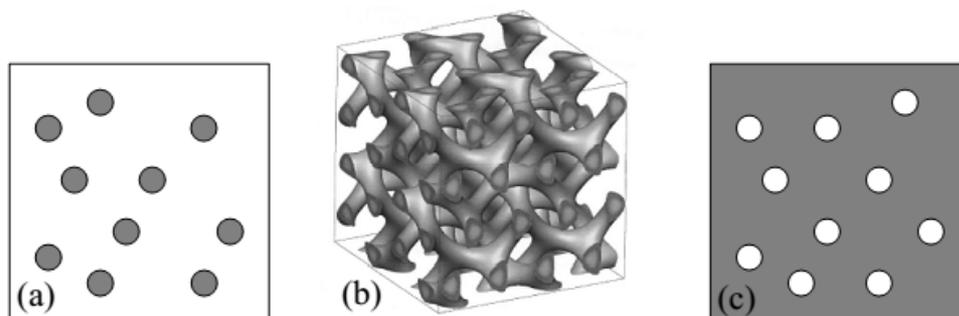


Figure II-5: Morphologie des mélanges (a) particulaire de 1 dans 2, (b) bicontinue et (c) particulaire de 2 dans 1 [41].

II-7-6 L'agent de compatibilisant

La résistance d'une interface ou l'adhésion interfaciale entre deux phases non miscibles peut être améliorée par l'ajout d'un tiers corps se localisant à l'interface et augmentant le degré d'enchevêtrement entre les deux phases. Ce polymère assure le contrôle de la morphologie et la stabilité du système biphasique en créant, de part et d'autre, des interactions avec les phases en présence. Ce tiers corps peut prendre différents noms : agent de couplage, promoteur d'adhésion, compatibilisants ou agent interfaciale [42]. Ils peuvent être distingués, par leur caractérisation physico-chimique et classés dans deux catégories différentes.

II-7-6-1 Les agents inter-faciaux

Les polymères greffés ou en blocs peuvent agir comme des émulsifiants en réduisant la tension superficielle des deux polymères et en augmentant leur adhésion inter-faciale.

II-7-6-2 Les copolymères statistiques

Ils montrent des propriétés intermédiaires entre les homopolymères du mélange, ils peuvent agir comme compatibilisant vu qu'ils modifient l'adhésion et la structure [43].

II-7-7 Mode d'addition du compatibilisant

Le mode d'addition du compatibilisant influence sensiblement les propriétés finales du mélange, dans la mesure où il agit sur la capacité du compatibilisant à migrer, vers l'interface. Cimmino et al [44]. Ont analysé deux types de mélanges compatibilisés à savoir :

II-7-7-1 le mélange en une seule étape

Qui consiste à introduire les trois composants simultanément dans le mélangeur dans le mélangeur, il présente une morphologie assez grossière et une faible résistance au choc.

II-7-7-2 le mélange en deux étapes

Dans lequel le compatibilisant qui forme la phase dispersée est mélangé séparément avant le mélange final, la morphologie dans ce cas est beaucoup plus fine, sa résistance à l'impact est nettement meilleure [45].

II-7-8 Illustrations de l'effet de la compatibilisation

Les compatibilisants tels que les copolymères en bloc ou greffés sont ajoutés au système pour de nombreuses raisons [46, 47].

II-7-8-1 Diminution de la tension interfaciale

En se positionnant à l'interface, le copolymère compatibilisant joue le rôle de surfactant et de fait provoque une diminution de la tension interfaciale.

Ceci a été vérifié expérimentalement par des mesures de tension interfaciale entre le polymère constituant la phase dispersée et un mélange matrice/compatibilisant [46].

La diminution de tension interfaciale mesurée dépend de la nature et de la structure du copolymère compatibilisant.

II-7-8-2 Stabilisation de la morphologie

La suppression de la coalescence est expliquée par [47, 48] (figure II-6) :

- ✚ la diminution de mobilité interfaciale,
- ✚ Le gêne stérique provoqué par la présence des chaînes de copolymère compatibilisant à l'interface

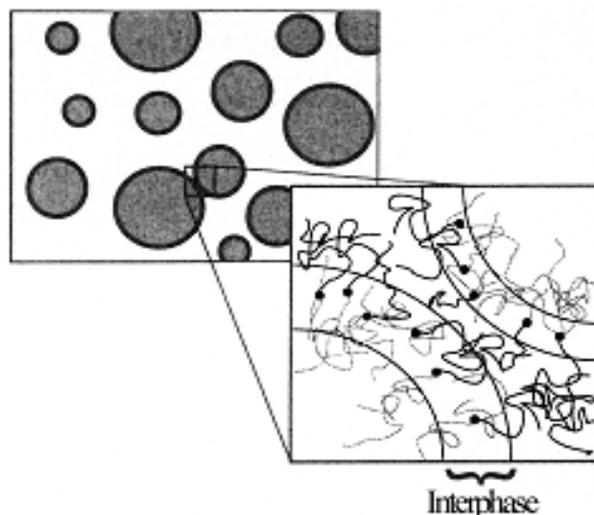


Figure II-6: Illustration du rôle de la présence du compatibilisant à l'interface dans la suppression de la coalescence [48].

II-7-8-3 Diminution de la taille de la phase dispersée

La diminution de la taille moyenne des gouttelettes de phase dispersée ne résulte pas uniquement de la diminution de la tension interfaciale entre les phases en présence du compatibilisant. Son effet est superposé à la suppression de la coalescence. Certains auteurs ont cherché à séparer l'effet de la diminution de tension interfaciale et l'effet de la suppression de la coalescence, dans le cas particulier de mélange **PP/PET** compatibilisés par différents copolymères [49]. L'effet de la suppression de la coalescence est au moins égal à celui lié à la diminution de la tension interfaciale.

II-8 Comparaison des deux méthodes de compatibilisation

Les avantages et les inconvénients des deux méthodes de compatibilisation les plus rencontrés sont résumés dans le tableau I [48, 44].

Tableau II-1 : Comparaison des deux méthodes de compatibilisation.

Méthode	Ajout d'un copolymère préformé	Compatibilisation réactive
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôle du taux ajouté dans le milieu. - Maîtrise de la structure du copolymère. 	<ul style="list-style-type: none"> - Formation du copolymère à l'interface. - Nombreuses structures possibles. - Une seule étape de mise en œuvre.
Inconvénient	<ul style="list-style-type: none"> - Diffusion du copolymère vers l'interface. - Formation de micelles de copolymère. - Préparation du copolymère. 	<ul style="list-style-type: none"> - Diffusion des espèces réactive vers l'interface. - Taux de réaction faible. - Présence d'un excès de réactifs.

De fait, différentes constatations ont pu être faites dans les études comparant ces deux méthodes [44] :

- Le taux de copolymère nécessaire pour atteindre la même taille moyenne de phase dispersée est plus important dans le cas de l'ajout d'un copolymère préformé.
- La distribution des tailles des domaines de phases dispersée est plus large dans les mélanges compatibilisés par un copolymère préformé, peut-être du fait de l'existence de micelles.
- Le temps nécessaire à l'établissement d'une morphologie à l'équilibre, dans les mêmes conditions de mélange, est plus court dans le cas de la compatibilisation réactive.

Pour ces deux méthodes de compatibilisation, l'aspect mise en œuvre du mélange est important. Pour obtenir une bonne dispersion et une compatibilisation efficace, il faut un bon mélange pendant la préparation du matériau.

II-9 Miscibilité et thermodynamique des mélanges de polymères

La notion de mélanges miscibles, immiscibles ou partiellement miscibles nécessite la définition d'une phase.

Une phase est définie d'une manière générale comme un milieu homogène par sa composition et son état chimique dans lequel les propriétés chimiques,

Physicochimiques et thermodynamiques sont stables et homogènes lorsque le système atteint l'état d'équilibre thermodynamique (indépendant du temps). Elle peut être séparée d'une autre phase par une interface.

La miscibilité de deux composants est une notion thermodynamique. L'énergie libre de mélange s'écrit :

$$\Delta G_m = \Delta H_m - T \Delta S_m \quad (\text{eq.1})$$

Dans cette équation, ΔG_m représente l'énergie libre de mélange, ΔH_m l'enthalpie de mélange, ΔS_m l'entropie de mélange et T la température absolue.

La condition nécessaire mais non suffisante pour que les composants du mélange soient miscibles est :

$$\Delta G_m < 0$$

L'entropie de mélange, ΔS_m , est liée au nombre d'arrangements possibles des différents constituants. Celui-ci est d'autant plus faible que les composants du mélange sont de masses molaires élevées.

L'enthalpie de mélange, ΔH_m , est représentative de la nature exothermique ou endothermique du processus de mélange. Si les interactions entre composants du mélange sont répulsives, il faut fournir de l'énergie pour mélanger les polymères et donc, elle est positive. Par contre, elle peut être négative, si des interactions favorables entre les molécules mélangées existent.

Dans le cas des macromolécules, ΔS_m est positif, mais proche de zéro. Pour que le mélange soit miscible, il faut donc que ΔH_m soit négatif ou proche de 0.

La théorie de Flory-Huggins permet de calculer l'énergie libre d'un mélange de polymères. Il est traité comme une solution régulière. Le mélange est représenté sur un

Maillage régulier ou chaque nœud est occupé par une unité d'une chaîne macromoléculaire.

Dans le modèle de Flory-Huggins, l'énergie libre de mélange de deux polymères, polyA et polyB, est alors donnée par l'équation 2 :

$$\Delta G_m = kT \left(\frac{\phi_A}{N_A} \ln \phi_A + \frac{\phi_B}{N_B} \ln \phi_B + \chi_{AB} \phi_A \phi_B \right) \quad (\text{eq.2})$$

Avec ϕ_A et ϕ_B les fractions volumiques des motifs constitutifs A et B,

χ_{AB} le paramètre d'interaction de Flory qui caractérise l'interaction effective entre un motif A et un motif B,

N_A et N_B les degrés de polymérisation de polyA et polyB.

Le paramètre d'interaction de Flory, χ_{AB} , peut être exprimé à partir de la variation d'énergie consécutive au remplacement d'une liaison A-A et d'une liaison B-B par deux liaisons A-B (équation .3).

$$kT \chi_{AB} = \varepsilon_{AB} - \frac{1}{2} (\varepsilon_{AA} + \varepsilon_{BB}) \quad (\text{eq.3})$$

Où ε_{AB} est l'énergie d'interaction entre A et B ε_{AA} et ε_{BB} sont les énergies d'interaction entre deux motifs A et B.

II.10 Critère pratique de miscibilité :

La relation (1), peut être modifiée pour faire apparaître un critère pratique de miscibilité, Λ_{AB} (équation. 4) [50].

$$\Delta G = RT \left[\frac{\phi_A}{V_A} \ln \phi_A + \frac{\phi_B}{V_B} \ln \phi_B \right] + \Lambda_{AB} \phi_A \phi_B \quad (\text{eq.4})$$

Où Λ_{AB} est l'énergie d'interaction entre polymères polyA et polyB, V_A et V_B les volumes molaires des motifs **A** et **B**. En fonction de la valeur de Λ_{AB} , on distingue trois cas:

– **Pour $\Lambda_{AB} < \Lambda_{crit}$** , le mélange est thermodynamiquement miscible. La valeur Λ_{crit} dépend entre autre de la nature et de la masse molaire des constituants

Exemple : Polystyrène/ Poly (oxyde de phénylène) ;

– **Pour $\Lambda_{AB} \geq \Lambda_{crit}$** , les composants du mélange sont immiscibles, le système est constitué de deux phases. La tension interfaciale est cependant faible, une bonne dispersion peut donc être obtenue. L'interface entre phases est large, l'adhésion est forte. Le mélange présente de bonnes propriétés et est dit compatible.

Exemple : Polycarbonate/terpolymère Acrylonitrile/Butadiène/Styrène ;

– **Pour $\Lambda_{AB} \gg \Lambda_{crit}$** , la tension interfaciale est plus forte, la dispersion est mauvaise (inclusions de grande taille). L'adhésion entre phases est faible et l'interface très fine. Les propriétés de ce mélange, dit incompatible, sont faibles.

Exemple : Polyamide-6/terpolymère Acrylonitrile/Butadiène/Styrène.

Tableau II-2: Classement caractéristique des mélanges.

Types de mélanges	Propriétés des mélanges
Miscible	$\Delta G_m \leq 0$ monophasé : propriétés intéressantes.
Compatible	$\Delta G_m > 0$ hétérophasé : propriétés intéressantes.
Incompatibles	$\Delta G_m > 0$ hétérophasé : propriétés peu intéressantes.

Λ_{AB} est un paramètre d'interaction empirique entre les polymères qui composent le mélange. Il dépend de la température, de la pression et de la composition du mélange. Il peut être calculé à partir des paramètres de solubilité d'Hildebrand par la relation :

$$\Lambda_{AB} = \frac{V_r}{RT}(\delta_A - \delta_B)^2 \quad (\text{eq.5})$$

Avec δ_A et δ_B les paramètres de solubilité des polymères polyA et polyB, V_r le volume molaire de référence.

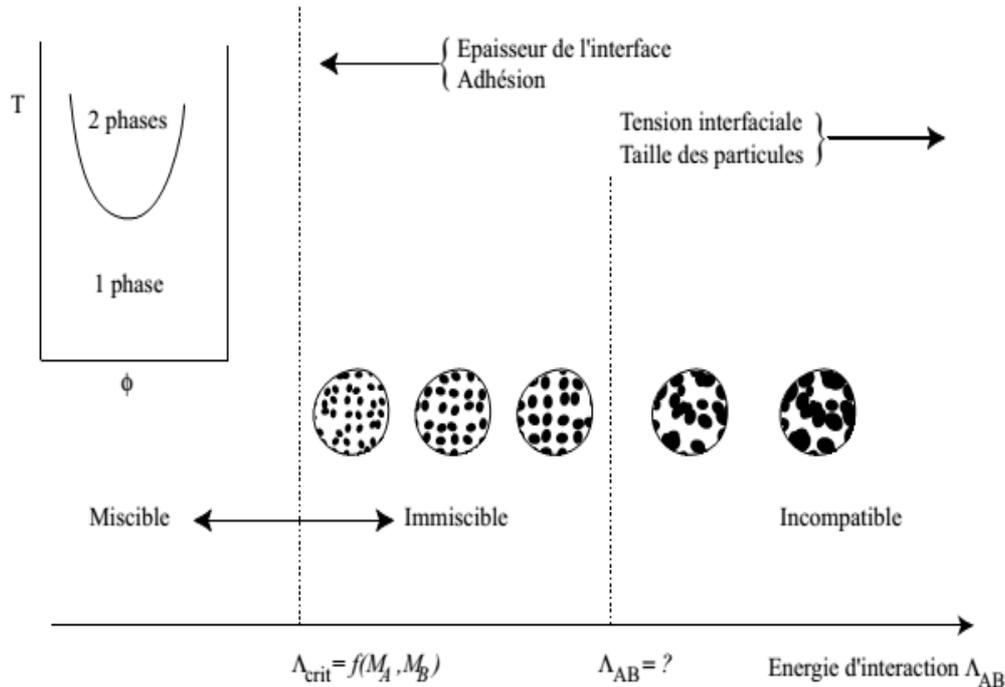


Figure II-7: Illustration de l'influence de l'énergie d'interaction entre polymères Λ_{AB} sur la structure et les propriétés des mélanges [50].

II-11 Comportement général d'un mélange binaire

Dans la plupart des cas, les polymères ne sont pas miscibles, par conséquent, leurs mélanges donnent souvent des matériaux peu résistants et cassants (fragiles) -La miscibilité des composants du mélange peut être améliorée par :

- i) l'addition d'un «agent compatibilisant»
- ii) le mélange des composants à travers un procédé de transformation approprié,
- iii) la modification chimique des composants du mélange.-A l'échelle macroscopique, la compatibilité du mélange est synonyme de son homogénéité [51].

II-12 Le Polycarbonate dans les mélanges de polymères

Le polycarbonate peut être mélangé à divers polymères, comme le SAN, le PET, le PMMA et l'ABS.

Le polycarbonate a une miscibilité partielle avec des polymères comme le poly (styrène-co-acrylonitrile) et (polyéthylène téréphtalate). La miscibilité partielle dans un mélange binaire amorphes P1 et P2 est généralement caractérisée par deux phases conjuguées (une phase riche en P1 et une phase riche en P2).

II-13 Le Mélange PC/SAN

Le mélange de deux polymères peut permettre la combinaison des propriétés de chacun des polymères, et ainsi obtenir un nouveau matériau possédant des propriétés intéressantes [52].

Les mélanges PC-SAN ont été étudiés par plusieurs auteurs [53, 54,55]. Une étude des transitions vitreuses du mélange PC-SAN montre un rapprochement des Tg des phases PC et SAN. Ceci révèle une miscibilité partielle des deux polymères. La miscibilité, l'adhésion entre le PC et le SAN et les propriétés mécaniques sont maximales lorsque la teneur en acrylonitrile dans le SAN est comprise entre 25 et 27%. La figure 47 montre ce phénomène : les mélanges qui ont une teneur en AN comprise entre 25 et 27% ont une meilleure résistance au choc que les mêmes mélanges avec des teneurs en AN à 10% ou à 32%. Keitz et al. [53] ont observé une baisse de la résistance au choc lorsque des matériaux styréniques sont ajoutés au polycarbonate (**figure II-8**).

Les mélanges ont été réalisés à l'aide d'une extrudeuse monovis.

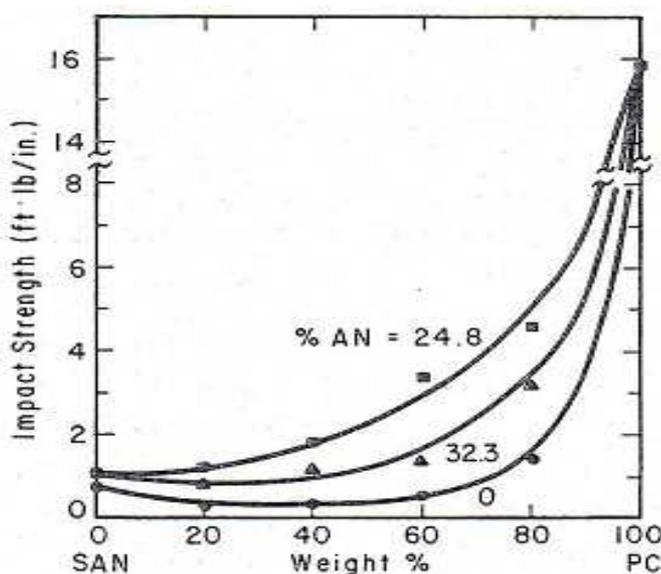


Figure II-8: Résistance au choc Izod de mélanges PC-SAN en fonction du pourcentage de PC [53].

II-14 Miscibilité de l'ABS/PC

Dans un mélange ABS/PC, c'est la phase SAN de l'ABS qui interagit avec le PC qui n'est pas compatible avec le polybutadiène (PB) [56, 57, 58]. La miscibilité entre l'ABS et le PC est dépendante de la teneur en acrylonitrile dans le SAN et elle est maximale pour des teneurs en acrylonitrile comprises entre 25 et 30% [60,58]. Dans ces conditions, l'adhésion à l'interface entre le PC et le SAN est maximale. L'ensemble de ces études montre que le PC et le SAN sont partiellement miscibles sans ajout de compatibilisant spécifique. Pour certaines applications commerciales qui nécessitent d'obtenir des propriétés mécaniques particulières, l'interaction à l'interface du PC et du SAN est insuffisante.

II-15 Morphologie des mélanges SAN/PC

Kolarik et al. [59] ont observé deux types de morphologie des mélanges PC-SAN, le SAN contenant 24% d'acrylonitrile en poids :

- une structure dont la phase minoritaire est du PC sous forme de particules dispersées dans la matrice. Dans le cas du mélange PC-SAN 30/70, les tailles des nodules de PC sont comprises entre 0,03 μm et 0,7 μm . Le mélange PC-SAN 75/25 contient des particules de SAN dont la taille varie entre 0,03 μm et 0,5 μm ;
- une structure co-continue (phases interconnectées) lorsque les fractions volumiques des constituants sont à peu près égales (mélanges PC-SAN 50/50 et 60/40).

On note l'absence de mélanges PC-SAN majoritaires en SAN avec une bonne résilience. Tous les mélanges majoritaires en SAN présentent une morphologie nodulaire et une résilience faible.

La morphologie des mélanges SAN-PC est influencée par différents paramètres tels que la miscibilité, la composition, le rapport de viscosité, la tension interfaciale, les conditions de mise en œuvre et la présence d'un agent à l'interface.

TRAVAUX DE RECHERCHE :

III-1 Kolarik et al. [60]

Sont arrivés à observé deux types de morphologie des mélanges PC-SAN, le SAN contenant 24% d'acrylonitrile en poids :

- ◆ une structure dont la phase minoritaire est du PC sous forme de particules dispersées dans la matrice. Dans le cas du mélange PC-SAN 30/70, les tailles des nodules de PC sont comprises entre 0,03 μm et 0,7 μm . Le mélange PC-SAN 75/25 contient des particules de SAN dont la taille varie entre 0,03 μm et 0,5 μm ;
- ◆ une structure co-continue (phases interconnectées) lorsque les fractions volumiques des constituants sont à peu près égales (mélanges PC-SAN 50/50 et 60/40).

On note l'absence de mélanges PC-SAN majoritaires en SAN avec une bonne résilience. Tous les mélanges majoritaires en SAN présentent une morphologie nodulaire et une résilience faible.

III-2 Keitz et al. [61]

Ont étudié les mélanges PC/SAN. Ils ont détecté, comme dans le cas de mélanges ABS/PC, la présence de deux T_g correspondant à une phase riche en SAN et une phase riche en PC. L'évolution de ces deux températures l'une par rapport à l'autre, en fonction du pourcentage d'AN dans le SAN ou du PC indique l'évolution de l'intermiscibilité avec le pourcentage de PC ou d'AN. Une T_g s'éloignant de celle du polymère pur est toujours mesurée ; l'écart est défini par la relation (6) :

$$\frac{T_g^{\text{mélange}} - T_{g\text{SAN}}}{T_{g\text{PC}} - T_{g\text{SAN}}} \times 100 = f(\% \text{PC}) \quad (\text{eq.6})$$

La (figure III-1) permet d'évaluer l'écart maximal (%), qui donne la miscibilité maximale. La fenêtre de miscibilité est optimale sur des mélanges PC/SAN, pour 25 à 30% d'AN dans le SAN. Ceci est transposable aux mélanges PC/ABS.

A taux constant de AN, si la composition en PC varie, on remarque que le taux de PC incorporable dans la phase SAN n'est pas constant : plus le mélange initial contient du PC, plus on peut incorporer du PC dans le SAN (figure III-2), c'est-à-dire que la phase SAN est plus riche en PC. Et inversement, l'augmentation du taux de PC dans le mélange conduit à une diminution du taux de SAN dans la phase PC, c'est-à-dire la phase PC est de moins en moins riche en SAN (figure III-2)

En résumé si le pourcentage de PC augmente, alors le taux de PC dans le SAN augmente et le taux de SAN dans le PC diminue.

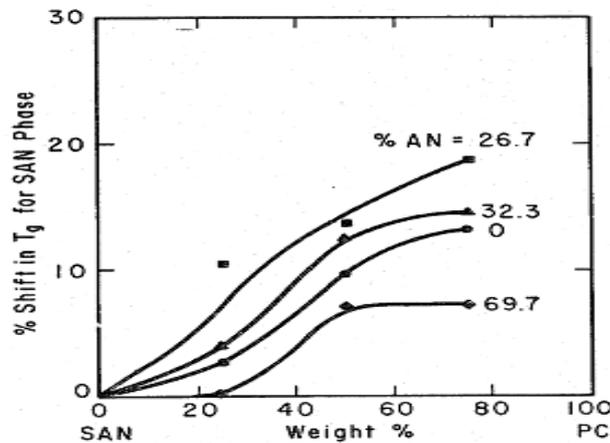


Figure III-1 : Décalage (en %) de la Tg de la phase SAN en fonction des pourcentages du PC et du AN.

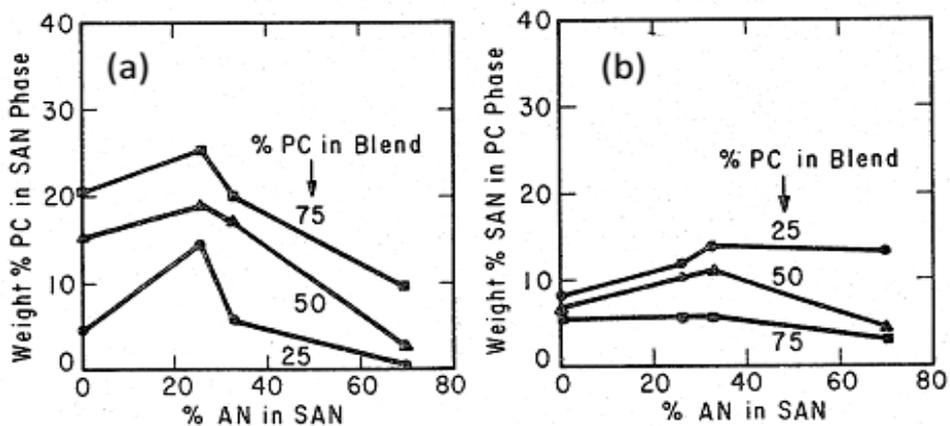


Figure III-2 : Composition des phases riches en SAN et en PC en fonction du taux d'AN dans le SAN [62].

III-3 Cheng et al. [63]

Ont étudié l'effet de l'agent compatibilisant MBS sur différents mélanges contenant du PC, en particulier des mélanges PC / SAN / MBS (60/30/10), le SAN contenant différents taux d'acrylonitrile (14,7%, 25% et 34%).

Ils ont remarqué que les propriétés en traction des mélanges sont légèrement affectées par la présence de MBS, mais que la résistance au choc du mélange est nettement améliorée par rapport aux mélanges binaires PC / SAN.

Il faut noter que, outre sa fonction de compatibilisant, le MBS est un renforçant au choc connu, au même titre que des particules d'élastomères. Il se présente sous forme de particules « core-shell » partiellement miscibles aux phases et capables de s'y disperser à une échelle submicronique. En général, le « cœur » est à base d'élastomère butadiène et est réticulé, alors que l'« écorce » est un ensemble de chaînes greffées qui interagissent avec la matrice.

III-4 Liu- Chiang et al. [64]

Ont étudié la résilience du mélange ABS / PC (80/20), ils ont trouvées que cette dernière est augmentée par l'ajout de 5% MBS. Elle passe de 6,42 kJ/m² (sans compatibilisant) à 11,6 kJ/m² (la résistance au choc de l'ABS seul étant de 11,3 kJ/m²). On observe une amélioration bien plus importante dans le cas où l'on ajoute à l'ABS un mélange ABS / PC et du MBS (on passe de 11,3 kJ/m² pour l'ABS à 17,5 kJ/m² pour le mélange ternaire final).

D'un autre côté, ont étudié l'influence du MBS sur des mélanges ABS/ PC (20/80) contenant des retardateurs de flamme. L'ajout de MBS entre 1 et 5 % augmente la résilience du mélange de façon significative.

III-5 Tasdemir [65]

A étudié l'influence du SBS sur les propriétés du mélange ABS/PC et a également remarqué une augmentation de la résilience qui passe de 11,50 kJ/m² à 18,23 kJ/m² avec l'ajout de 10% de SBS au mélange ABS / PC (70/30). La résilience et la ténacité de mélanges ABS / PC (30/70) sont améliorées avec l'ajout de 1% de SAN-greffé amine. Ce compatibilisant est miscible avec le SAN de l'ABS et réagit avec le PC.

III-6 Tjong- Ning et al [66]

Ont utilisé du PP-g-MA et de la résine époxy réactive. Ils ont observé une amélioration de la résistance au choc avec l'ajout de PP-g-MA, et une augmentation plus prononcée lorsque le mélange ABS/PC/PP-g-MA (avec 70% de PC) contient jusqu'à 2% résine époxy.

Les mélanges sont préparés en plusieurs étapes, dont la première consiste à mélanger le PP-g-MA (5%) et l'ABS. La seconde consiste à introduire la résine époxy dans le mélange durant l'extrusion.

La résine époxy peut réagir avec des groupes réactifs, notamment l'anhydride maléïque, du mélange durant la mise en œuvre. Ont remarqué aussi que l'ajout de 5 à 20% en masse de PP-g-MA améliore la résistance au choc du PC. L'introduction d'un groupe carboxyle par le greffage de MA augmente la polarité du PP, qui permet ainsi d'améliorer les interactions avec le PC.

III-7 Balakrisnan- Zhang et al. [67]

Ont observé une augmentation progressive de la résistance au choc du mélange ABS/PC (la teneur de PC variant de 25 à 75%) avec l'ajout de 5% d'ABS-g-MA (tableau 37). Les mélanges ont été réalisés en extrudeuse monovis et les essais de résistance au choc Izod ont été effectués sur des éprouvettes entaillées.

Sont arrivés aussi à observé que l'ajout de 10% d'ABS-g-MA améliore la résistance au choc du mélange ABS/ PC (70/30), Ils ont utilisé une extrudeuse bivio corotatives à 240°C pour préparer les mélanges. Ils ont observé une chute de la résilience lorsque la teneur en compatibilisant dépasse 20%. Ils ont expliqué que le composant DCP (peroxyde de dicumyle) utilisé pour le greffage du MA sur l'ABS pourrait dégrader l'ABS lorsque sa quantité est importante.

III-8 Cheng et al. [64]

Ont étudié le mélange PC-PMMA. Ils ont utilisé un modificateur d'impact, le MBS. Ils ont alors remarqué que les propriétés mécaniques en traction sont légèrement affectées par la

présence de MBS (méthyle méthacrylate butadiène styrène), mais que la résistance au choc du mélange est nettement améliorée par rapport à celle du mélange PC-PMMA (60/40). De plus, ils ont montré que le procédé de mélangeage par extrusion a une influence sur les propriétés mécaniques.

En effet, les mélanges ternaires PC/PMMA/MBS préparés en deux étapes (deux extrusions) présentent de meilleures propriétés mécaniques que ceux réalisés en une seule étape. Les mélanges PC/PMMA (60/40) ont tendance à avoir une morphologie co-continue (phases interpénétrées), et les mélanges PC/PMMA compatibilisés avec du MBS ont également une structure co-continue. Dans ces derniers cas, le MBS réside essentiellement dans la phase PMMA.

III-9 Wong et Col [68].

Ont étudié l'effet de la fonctionnalité sur la microstructure et la dureté d'un mélange de polypropylène/ polyamide modifiant du choc (relation structure-propriétés).

L'effet de la teneur de l'anhydride maléique (MAH) et sa fonctionnalité réactive sur la dimension et la morphologie de la phase des mélanges de nylon 6,6/ polypropylène ont été discutés.

Les microstructures étaient examinées par le microscope optique à transmission polarisée (TOM), le microscope électronique (SEM) à balayage et le microscope électronique à transmission (TEM). Les propriétés en traction et la fracture des mélanges fonctionnalisés étaient reportées et discutées en termes de caractéristique morphologique découvertes par ces techniques de microscope. La contrainte à la traction augmente avec la teneur de SEBS-g-MAH dans les mélanges de nylon 6,6/PP (75/25) mais une déviation inversée était observée dans les mélanges de nylon 6,6/PP (50/50). Il a été supposé que ceci a été causé par la migration des blocs styrénique fonctionnalisés de la phase PP aux domaines de nylon dispersés dans les mélanges de nylon 6,6/PP (50/50). Une morphologie optimisée était trouvée quand le SEBS greffé avec 0.74% en poids de MA étaient mélangés avec le nylon 6,6/PP (75/25), à cette composition les inclusions de SEBS étaient dispersées uniformément dans la matrice continue du nylon et une couche épaisse des molécules de

SEBS aussi existe à l'interface nylon-PP, cette dernière à donné une morphologie similaire à la structure.

Cœur – enveloppe du caoutchouc modifié (exemple le SEBS c'est l'enveloppe et le PP c'est le cœur) et a transmis la résistance à la fracture la plus élevée à ce mélange avec une combinaison optimale de contrainte à la traction et la ductilité. La conclusion de ce travail résume les points suivants :

- Il a été trouvé que la taille des particules de la phase dispersée diminue quand la teneur du MAH greffé du SEBS augment, les inclusions du SEBS dans les matrices riches en nylon se dispersent dans la matrice du nylon et à l'interface nylon – PP pour les mélanges contenant une teneur en MA d 0.74% ou moins. Cependant ces inclusions de SEBS forment des agrégats dans la phase du nylon pour les mélanges de haute teneur en MAH. Une morphologie optimale présentant des fractures existe dans le mélange ayant 0.74% en MAH.
- Une déformation plastique suivie par le relâchement des inclusions de PP apparaissant dans les mélanges ayant un allongement à la rupture élevé. Il a été supposé que la capacité de la phase dispersés pour ce déformer plastiquement et se relâcher. Couplée avec une matrice continue et effectivement dure et résistante. Peut donner une résistance à la fracture très élevée dans les mélanges de plusieurs phases.
- La contrainte à la traction et la rigidité augment avec la quantité de MAH greffé du SEBS dans les mélanges nylon6,6/PP (75/25) l'inversion de phase apparue dans le système (50/50) ou le PP devient la phase continue. La migration des copolymères blocs de styrène fonctionnalisés de la phase PP à la phase nylon. Apparue dans chaque système. Un comportement de renforcement intrinsèque par les blocs rigide de polystyrène du SEBS-g-MAH. Semble être causé du durcissement dans les mélanges riches en nylon et l'affaiblissement dans les mélanges dont le PP est la phase continue il a été conclu que les inclusions du nylon dans la matrice du PP modifiée par le SEBS n'apportent aucun effet de renforcement à cause de la faible adhésion inter-faciale.
- Il a été supposé que la contrainte à la traction et la ductilité, sont les deux facteurs importants qui affectent la résistance à la fracture pour les mélanges nylon6,6/PP.

III-10 Rosch, Horiuchi et al. [69]

Ont également observé des morphologies similaires de PA et de SEBS-g-MA dans les mélanges PP/PA/SEBS-g-MA et PC/PA/SEBS-g-MA. Les particules de PA sont bien entourées par le SEBS-g-MA et forment des amas de particules dispersées sous forme : cœur/ écorce.

En conclusion, il semble donc que plusieurs compatibilisants (SEBS-g-MA, MBS, PP-g-MA et ABS-g-MA) soient susceptibles d'augmenter la résilience de mélanges ABS/PC dans une large gamme de pourcentages de PC. Cet effet, néanmoins, dépend de la composition du mélange et du mode de mise en œuvre.

Chapitre IV

Méthodologie Expérimentale

Chapitre IV : Méthodologie Expérimentale

IV-1 Introduction

Notre méthodologie de travail comporte plusieurs étapes dont la première, est de préparer la matrice qui est à base de polycarbonate(PC) et le Polystyrène-co-acrylonitrile(SAN), puis l'incorporation de (SEBS-g-MAH) dans la matrice. Par la suite, nous avons procédé à l'élaboration des mélanges PC/SAN/SEBS-g-MAH. Les mélanges réalisés ont été caractérisé d'un point de vue des propriétés mécanique (traction, choc et dureté), Rhéologique (IF), et propriétés thermique (DSC), et spectroscopie (IRTF).

IV-2 Plan de travail : Ce travail est résumé dans l'organigramme suivant:

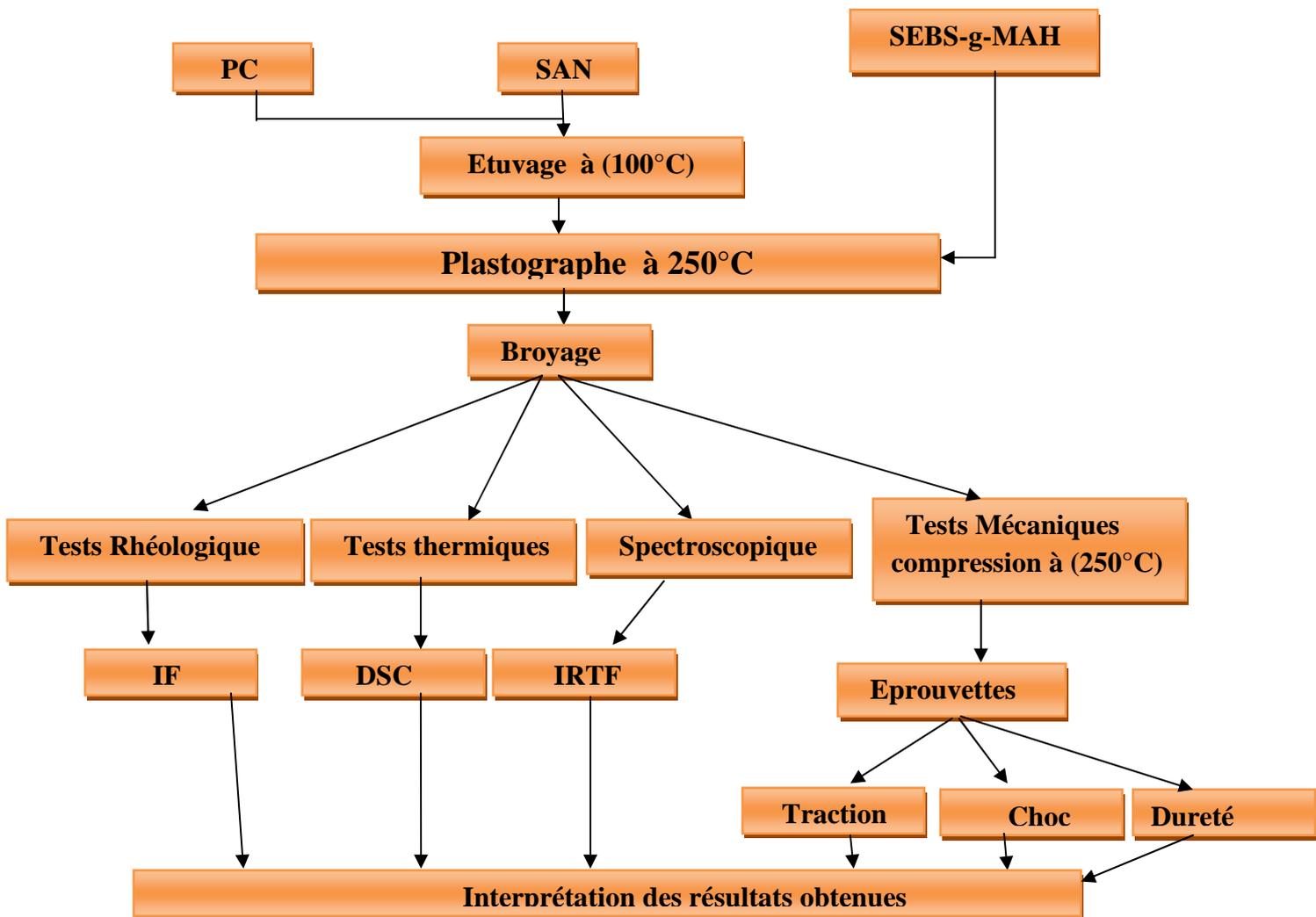


Figure IV-1: Organigramme représente les étapes de travail.

IV-3 Matériaux utilisées

IV-3-1 Polycarbonate (PC)

Le polycarbonate utilisé est un produit commercialisé sous la référence : Makrolan 2858, il présente les caractéristiques suivantes:

Tableau IV-1 : caractéristiques du (PC) [9].

PROPRIETES	PC
Source	SENSUS LUDWIGSHAFEN
- Densité	1.20 ;
- Indice de fluidité	10 g/10 min à 190°C ;
- Forme	granulé ;
- Couleur	transparent.

IV-3-2 poly (Styrène-co-Acrylonitrile) (SAN)

Le poly (styrène-co-acrylonitrile) utilisé est commercialisé sous la référence : **Luran 368 R** Naturel, dont les caractéristiques sont:

Tableau IV-2 : caractéristiques du (SAN) [19].

PROPRIETES	SAN
-Source	BASF-GERMANY
- Densité	1.08 ;
- Indice de fluidité	9 g/10 min à 220 °C ;
- Forme :	granulé ;
- Couleur :	transparent.

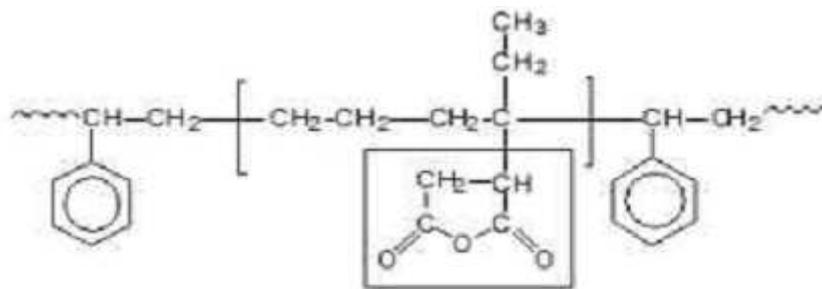
IV-3-3 le compatibilisant (SEBS-g-MAH)

C'est un copolymère de type (Styrène- Ethylène –Butylène- Styrène), commercialisé sous le nom Kraton FG1901x, est un copolymère à trois block de type S-EB-S qui greffé par environ 2% en poids d'anhydride maléique, le pourcentage de la phase de polystyrène dans le polymères est environ 29% c'est un bon compatibilisant pour la plupart des mélanges notamment notre mélange qui est à base de PC/SAN ses caractéristique techniques sont rassemblées dans le (tableau IV-3) ci-dessous :

Tableau IV-3 : les caractéristiques de SEBS-g-MAH :

PROPRIETES	SEBS-g-MAH
-Source	SHELL
-Densité	0.919 ;
-Indice de fluidité	3.2g/10min à 230°C ;
-Forme	-Granulé
-Bloc final	-Polystyrène
-Blocs centraux	-Poly (éthylène/butylène)
-Température de mise en œuvre	-190-260°C

IV-3-3-1 Structure de SEBS-g-MAH

**Figure IV-2** : Structure chimique de poly (styrène-éthylène-butylène-styrène).

IV-4 Préparation des mélanges

Les granulés du PC, SAN, SEBS-g-MAH sont préalablement séchés, au moins 12h à 100°C dans l'étuve.

Les mélanges sont d'abord passés dans un mélangeur de type **Brabender**, à une température 250°C, et un temps de mélangeage de chaque composition est de 10 min, et la vitesse de mélangeage est de 45tr/min, La matière collectée du malaxeur est refroidie à l'air. Cette dernière sous forme des petits morceaux est broyée dans un broyeur de type **Polylab Brabender** est récupéré en granulés. Les mélanges sont réalisés selon trois groupes :

- Mélanges sans compatibilisant ;
- Mélanges avec 5% de SEBS-g-MAH ;
- Mélanges avec 10% de SEBS-g-MAH.

✚ Température de mélangeur : T= 250 °C

✚ Vitesse de rotation du mélangeur interne : V_R 45tours/min ; Temps de malaxage : t=10min.

IV-4-1 Préparation des éprouvettes

Les éprouvettes destinées aux essais mécaniques (traction, et choc) ont été moulées par compression à l'aide d'une presse hydraulique à deux plateaux de type "POLYLAB". La matière broyée lors du malaxage est placée en excès dans les fenêtres du moule entre deux feuilles d'aluminium intercalées entre deux plaques métalliques, et pressée ensuite à 250 °C, pendant 10 min.

IV-4-2 Composition des Mélanges

a- Mélanges sans compatibilisant

PC %	100	90	80	70	50	30	20	10	0
SAN%	0	10	20	30	50	70	80	90	100

b- Mélanges avec compatibilisant :

Pour la compatibilisation du mélange PC/SAN/SEBS-g-MAH, nous avons choisi un taux de 5% et 10% en SEBS-g-MAH

PC %	10	20	30	50	70	80	90
SAN %	90	80	70	50	30	20	10
SEBS-g-MAH	5 %						
SEBS-g-MAH	10 %						

IV-5 Méthodes de Caractérisations

IV-5-1 l'indice de fluidité (IF)

IV-5-1-1 principe

La connaissance de l'indice de fluidité est un moyen simple et rapide pour appréhender les différences de viscosité de plusieurs matériaux plastique, fournissant ainsi une indication utile de leur fluidité lors de la transformation. La matière granulée des mélanges est extrudée à travers une filière de diamètre 2.09 mm et de longueur de 8 mm à la température de 250°C avec une charge de 2.16 Kg. Cet essai été réalisé à l'aide d'un fluidimètre de model tester IPT 1267 suivant la norme ISO1130

Pour le calcul la relation suivante a été utilisée :

$$IF = 600.M/t \text{ (g /10min)} \dots\dots\dots(1)$$

Où :

IF: Indice de fluidité (g /10min).

M: Masse de l'extrudât en gramme.

T: Intervalle de temps entre deux coupes d'un extrudât en seconde.

IV-5-2 Caractérisation par traction

Parmi tous les essais mécaniques, l'essai de traction est certainement l'essai le plus fondamental. Il sert à déterminer les principales caractéristiques mécaniques telles que le module d'élasticité, le coefficient de poisson, la limite d'élasticité, la résistance à la rupture, l'allongement après rupture et le coefficient de striction. Son exécution est facile et les résultats obtenus servent à dimensionner toutes sortes de pièces allant d'un pignon microscopique jusqu'à la structure métallique d'un grand hall. Dans la recherche on l'applique pour la caractérisation de nouveaux matériaux et dans l'industrie pour les contrôles périodiques servant à surveiller la qualité des alliages, des polymères et des céramiques.

IV-5-2-1 Principe

L'éprouvette, de section circulaire, carrée ou rectangulaire, est soumise à deux forces égales et opposées appliquées suivant son axe, sous l'action de ces forces qui croissent progressivement, l'éprouvette s'allonge jusqu'à rupture en vue de déterminer une ou plusieurs caractéristiques mécaniques du polymère à étudier.

IV-5-2-2 Appareillage

Les essais de traction ont été effectués sur une machine de type **Testometric** 25 KN, les éprouvettes sont fabriquées selon la norme ASTM D638-72 à une vitesse d'étirage de 3mm/min, à la température ambiante. Une éprouvette de géométrie parfaitement définie (**115 x 12.7 x 2) mm³**, est encastrée à ses deux extrémités dans des mors.

IV-5-3 Caractérisation par essai de choc

Les éprouvettes de choc ont été préparées selon la norme ASTM D 2556-73 de dimension **(63 x12.7 x 2) mm³**, sans entaille. Ces éprouvettes sont soumises à l'essai de choc à la température ambiante à l'aide d'un appareil de type **CEAST** de nom **Resil Impactor**, qui consiste fondamentalement en un pendule lourd portant à son extrémité libre un Marteau de 7.5 KJ, un emplacement pour éprouvettes et un cadron indicateur de l'énergie absorbée au cours du choc. Quatre essais ont été effectués pour chaque composition du mélange. La caractéristique mesurée est la résistance au choc (résilience), notée (a) pour une éprouvette avec entaille. D'où :

$$a = An / (hk - e) \text{ en (kJ/m}^2\text{).....(2)}$$

a : la résilience au choc (KJ/m²).

An: énergie moyenne absorbée (kJ).

hk: la largeur de l'éprouvette mesurée (m).

e: épaisseur de l'éprouvette (m).

IV-5-4 Caractérisation par Dureté (Shore D)

Pour cet essai on a utilisé la méthode **Shore D** ; conçue pour les polymères durs, selon la norme ISO 869 pour des éprouvette de dimensions **(63 x12.7x 2) mm³**. Après avoir placé l'échantillon sous l'aiguille du durometre, une charge de 5 Kg est appliquée, mais la valeur de la dureté n'est lue qu'après la stabilisation de l'aiguille dans la matière. Cinq mesure ont été effectués sur chaque échantillon en des points distants d'environ de 3 mm les uns des autres et environ 12 mm des bordures de l'échantillon. Les résultats sont exprimés par la moyenne des cinq valeurs d'essais.

IV-5-5 Caractérisation par Spectroscopie Infrarouge

La spectroscopie infrarouge utilise un interféromètre pour l'acquisition de données et une transformation de Fourier numérique pour le traitement des données.

IV-5-5-1 Principe

L'interaction entre les ondes électromagnétiques et la matière permet des études très variées en fonction de la longueur d'onde. Si la matière est soumise à une radiation infrarouge, on constate une absorption d'énergie chaque fois qu'il y a résonance entre la fréquence de l'onde incidente et l'un des mouvements de vibration possible des atomes (oscillateur) constituant la molécule. Cette dernière, initialement à l'état quantique E_1 , peut passer à un état excité, si la condition de résonance est respectée.

$$\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu \dots\dots\dots$$

L'intensité de l'absorption est déterminée par la probabilité de transition entre le niveau fondamental et le niveau excité. Ces transitions ne sont permises que si elles associent à des modes de vibration qui s'accompagnent d'une variation du moment dipolaire.

IV-5-4-2 Appareillage

Les spectres sont enregistrés sur un appareil JASCO 2400, parcourant la gamme 400 et 4000 cm^{-1} . Cet appareil est couplé à un microordinateur, utilisant un logiciel pour le dépouillement des résultats.

IV-5-6 Tests thermiques

IV-5-6-1 Caractérisation par Analyse calorimétrique différentielle (DSC)

Cette technique est utilisée pour étudier les différentes transitions thermiques des polymères lorsqu'ils subissent une variation de température. Son principe de fonctionnement est de mesurer la différence de flux de chaleur entre un creuset contenant l'échantillon et un creuset vide de référence, en fonction de la température. Lorsqu'une différence de température est générée entre l'échantillon et la référence, le calorimètre ajuste la puissance d'entrée de manière à réduire cette différence. Un signal proportionnel à la puissance fournie à l'échantillon (ou à la référence) est enregistré. Les mesures ont été effectuées au moyen d'un calorimètre différentiel à balayage de marque "NETZSCH.DSC 200 PC" avec des échantillons de 12 mg dans la gamme de température allant de 20°C à 350°C, pour une vitesse de chauffage de 10°C/min

La DSC permet de détecter :

- ◆ La transition vitreuse (T_g) caractérisée par un changement de pente endothermique.
- ◆ Le pic de fusion (phénomène endothermique).
- ◆ Le pic de cristallisation (phénomène exothermique).

Mais dans notre cas on détermine sauf la T_g puisque notre mélange est totalement amorphe.

Chapitre V

Résultats et Discussions

Chapitre V : Résultats et Discussions

Après avoir eu des rappels théorique dans le chapitre I et II, et choisir les méthodes de caractérisation dans le chapitre IV, nous essayerons dans ce dernière chapitre d'exposer les principales conclusions déduites des résultats expérimentaux.

Les résultats des tests sur des mélanges obtenus ont été interprétés afin de pouvoir évaluer l'influence du SEBS-g-MAH sur les mélanges PC/SAN et l'influence des taux de la phase majoritaire de mélange PC/SAN sur les propriétés finale du mélange PC/SAN/SEBS-g-MAH.

V-1) Propriétés Rhéologiques

V-1-1 Résultats de l'indice de fluidité

Les résultats obtenus de l'indice de fluidité en fonction de taux du PC pour les mélanges (PC/SAN) sans et avec compatibilisant, sont rassemblés dans la figure (V-1) et le tableau A (voir annexe).

On remarque que plus le taux du PC augmente, l'indice de fluidité diminue pour les mélanges PC/SAN sans agent compatibilisant, ceci est évident car le PC à une masse moléculaire et une viscosité plus élevée que celui de SAN, qui empêche l'écoulement libre des chaînes d'où un faible indice de fluidité. Selon la figure ci-dessous on observe que l'allure de la courbe change à la composition 50% du mélange (c'est-à-dire l'indice de fluidité des mélanges ou le PC est la phase majoritaire est inférieur à celui des mélange ou le PC est la phase minoritaire. L'ajout du PC augmente la viscosité du mélange, ce qui entraîne un flux de matière faible et donc un indice de fluidité moins important.

On remarque aussi, une augmentation considérable de l'indice de fluidité des mélanges PC/SAN pour un taux de 10% du SEBS-g-MAH, Ceci peut être expliqué par l'effet de compatibilisant SEBS-g-MAH qui développe des interactions à l'interface de mélange PC et SAN.

Cette augmentation dans les valeurs de l'indice de fluidité à une importance car réduire l'énergie consommer durant le processus de transformation (mélangeage), mais toujours on observe que les valeurs de l'indice de fluidité des mélanges ou le PC est la phase majoritaire est inférieur à celui des mélanges ou le SAN est la phase dominante, en revanche les interactions développée entre le PC et SAN par l'agent compatibilisant peuvent être d'ordre physique.

Les liaisons d'ordre physiques sont associées à la diminution de la tension interfaciale entre les phases individuelles et à l'amélioration de l'adhésion.

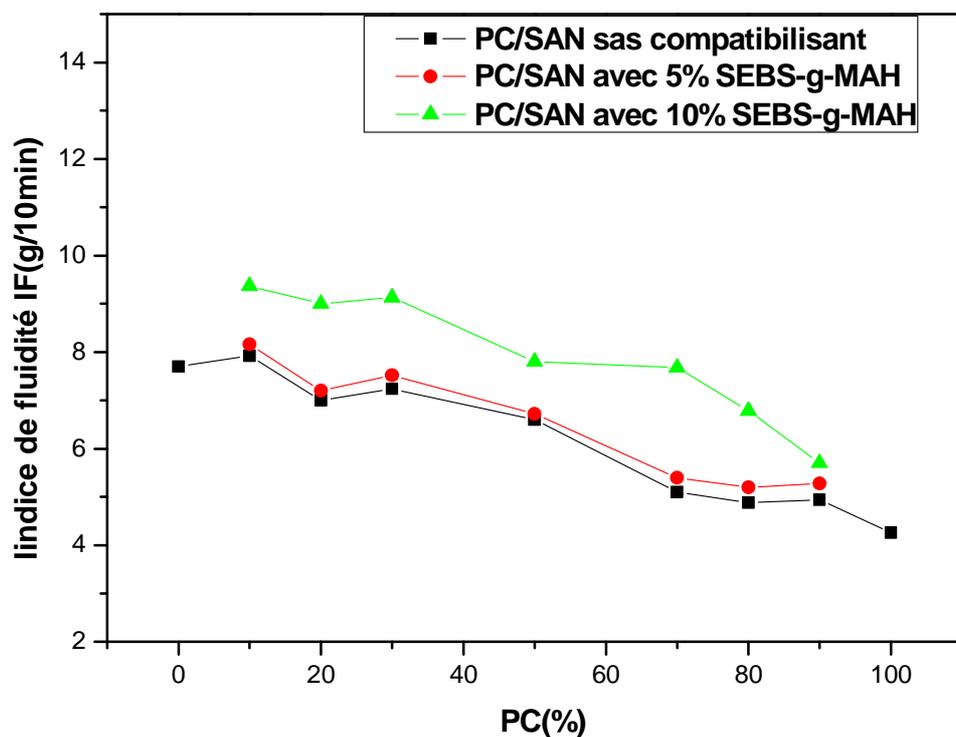


Figure V-1: Variation de l'indice de fluidité en fonction du taux de PC pour les mélanges (PC/SAN) sans et avec l'agent compatibilisant SEBS-g-MAH.

V-2) Résultats de la dureté

La (Figure V-2) montre la variation de la dureté en fonction du taux de PC pour les mélanges PC/SAN sans et avec compatibilisant SEBS-g-MAH, le **tableau B (Voir annexe)**.

D'après cette figure, on remarque que la dureté est presque constante dans toutes les compositions des mélanges sans compatibilisant, ceci peut s'expliquer par l'effet dur des deux phases du SAN et du (PC).

Ainsi, La figure illustre clairement que la présence de l'agent compatibilisant SEBS-g-MAH avec un taux de **5%** provoque une diminution dans les valeurs de la dureté dans toute l'étendue de composition, Ce résultat peut s'expliquer par l'effet du compatibilisant, qui à un comportement élastique .

Aussi, la figure montre que même la présence de l'agent compatibilisant avec un taux de **10%** toujours provoque une diminution dans toute l'étendue de composition, ceci peut être expliqué par l'effet de compatibilisant qui donne aux mélanges un aspect élastique.

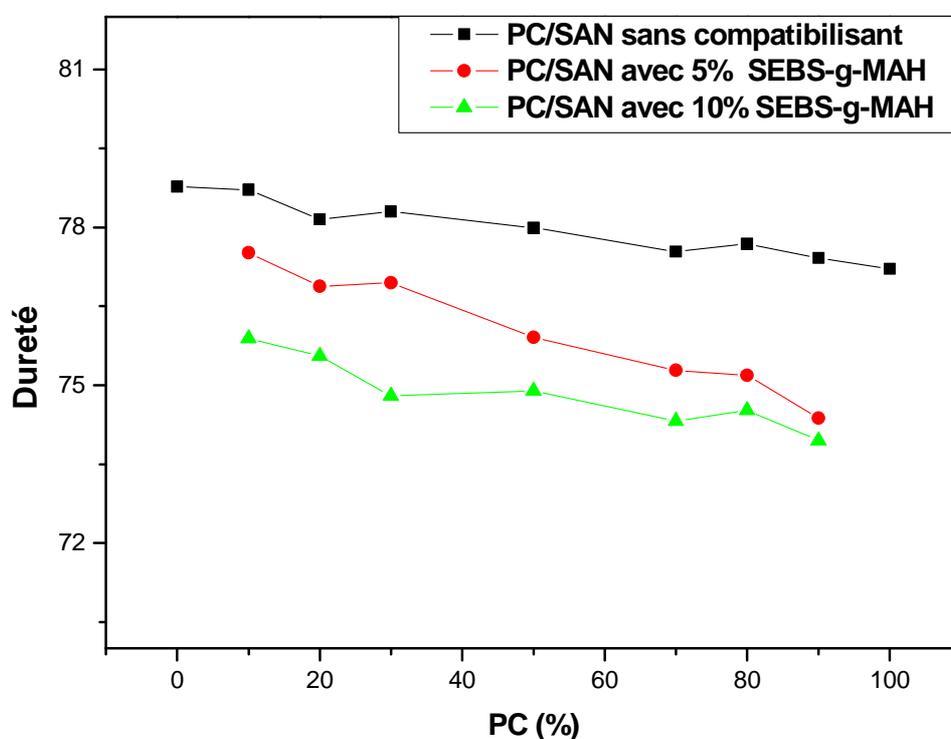


Figure V-2 : Variations de la dureté en fonction du taux de PC pour les mélanges PC/SAN sans et avec compatibilisant SEBS-g-MAH.

V-3) Résultats de la résistance au choc

La (Figure V-3) représente la variation de la résilience en fonction du taux de PC pour les mélanges PC/SAN sans et avec compatibilisant SEBS-g-MAH, les résultats sont rassemblés dans le tableau C (voir annexe).

La résistance au choc montre une variation presque constante dans l'intervalle 0-50% pour les mélanges sans compatibilisant, ce qui reflète le caractère dominant de rigidité du SAN, puis la résistance au choc augmente rapidement à partir de l'intervalle 50-100% du mélange PC/SAN pour atteindre un maximum pour le PC pur.

Pour les mélanges compatibilisés avec 5% et 10% de SEBS-g-MAH la figure montre une nette augmentation de la résilience des mélanges. Ce résultat dû à l'effet du compatibilisant qui peut alléger la tension interfaciale, ce qui mène à une bonne dispersion des particules de la phase dispersée dans la matrice, de ce fait, à l'amélioration de l'adhésion interfaciale, Un effet synergétique particulièrement prononcé est observé à la composition 90% de PC, pour laquelle la résistance au choc atteint presque 40 kJ/m^2 , ce qui s'explique par une forte interaction à cette composition. Des tendances assez similaires sont observées par l'étude plus récente du Yin, Krache, et al [66], qui ont trouvé des résultats similaires.

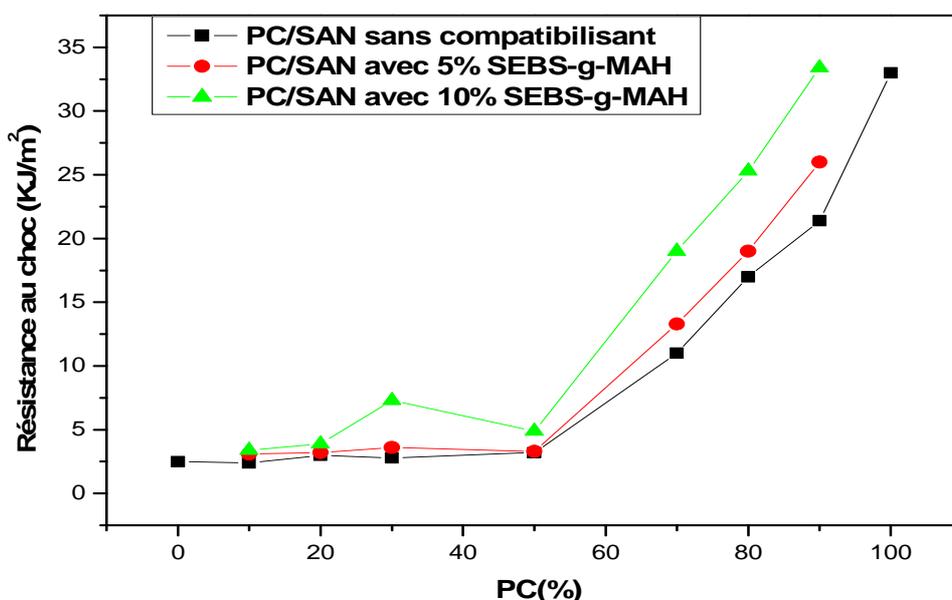


Figure V-3 : variations de la résilience en fonction du taux de PC pour les mélanges PC/SAN sans et avec compatibilisant SEBS-g-MAH.

V-4) Résultats de traction

Le test de traction étudié en fonction du taux de **PC**, nous permet d'obtenir des informations utiles sur l'évolution de ces propriétés. Les résultats chiffrés (module d'élasticité, contrainte à la rupture, et déformation à la rupture) sont représentés dans les figures (**V-4**, **V-5**, et **V-6**) et les tableaux (**D**, **E**, **F**) (voir l'annexe).

a) Module d'élasticité :

La **Figure (V-4)** représente la variation du module d'élasticité en fonction du taux de PC, le module d'élasticité du SAN pur est (2950 MPa) plus élevée que celui du PC (2300MPa), la Figure montre que le module des mélanges sans agent compatibilisant tend à diminuer continuellement avec l'augmentation du taux de PC en restant inférieur à celui prévu par la loi des mélanges simples (la ligne d'additivité). Les mélanges compatibilisés avec 5% et 10% montre une allure identique avec une diminution dans les valeurs du module pour toute l'étendue des mélanges, par rapport les mélanges sans compatibilisant, ceci peut être attribué au faible module d'élasticité du SEBS-g-MAH. D'une manière générale, le module des mélanges dépend essentiellement des modules et des taux des composants existants.

b) Contrainte à la rupture

L'évolution de la contrainte à la rupture des mélanges PC/SAN sans et avec compatibilisant est illustrée par la **figure (V-5)**. Elles montrent que la contrainte augment avec l'augmentation de taux du PC. L'addition du compatibilisant avec un taux de 5% contribue encore à une augmentation de la contrainte, et même remarque pour les mélanges compatibilisés avec 10% du SEBS ce qui peut être attribué au caractère élastomérique du SEBS-g-MAH.

c) Déformation à la rupture

La **Figure (V-6)** montre la variation de la déformation à la rupture en fonction du taux de PC.

L'allongement à la rupture des mélanges non compatibilisés montre une variation constante dans l'intervalle 0-30% du PC pour les mélanges sans et avec compatibilisant, puis augmente légèrement jusqu'à 90% du PC. Les mélanges riche en PC présente un allongement meilleur que celui du SAN, dû à la forte adhésion entre les deux phases de PC et SAN. Ainsi que la présence du compatibilisant contribue à l'augmentation de l'allongement, et l'évolution de l'allongement à la rupture des mélanges PC/SAN est logique, comparée aux résultats obtenus de la résistance au choc. Une résistance aux chocs élevée indique une ductilité, qui s'exprime par un allongement à la rupture élevée.

Le rôle du SEBS-g-MAH en tant que compatibilisant est confirmé une autre fois par l'amélioration de l'allongement à la rupture des mélanges PC/SAN suite à l'addition du SEBS-g-MAH. Ainsi, quand le PC constitue la phase majoritaire. Ces résultats en accorde avec aux résultats trouvés par Keitz et al. qui ont utilisé le SEBS pour la compatibilisation du mélange PC/SAN [68].

Les résultats sur les propriétés mécaniques des mélanges compatibilisés montrent que des améliorations de propriétés sont notables dès l'incorporation des différent taux de compatibilisant (5-10%). Ceci peut s'expliquer, par le fait que l'architecture du compatibilisant est telle qu'il vient se loger préférentiellement à l'interface [67].

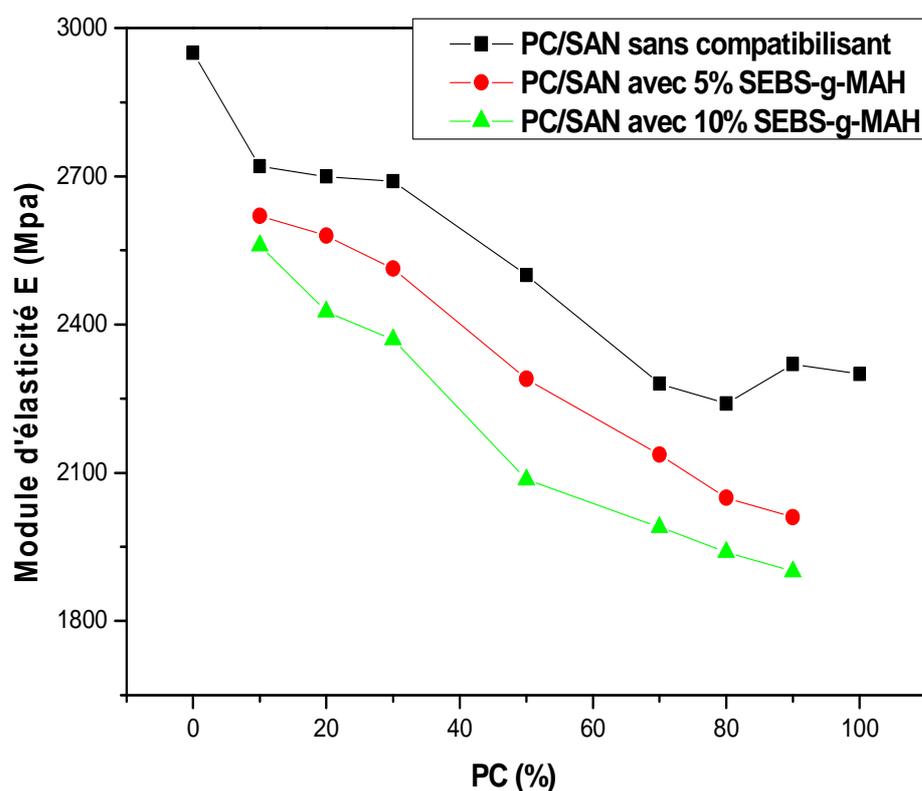


Figure V-4 : Variations du module d'élasticité en fonction du taux de PC pour les mélanges PC/SAN sans et avec compatibilisant SEBS-g-MAH.

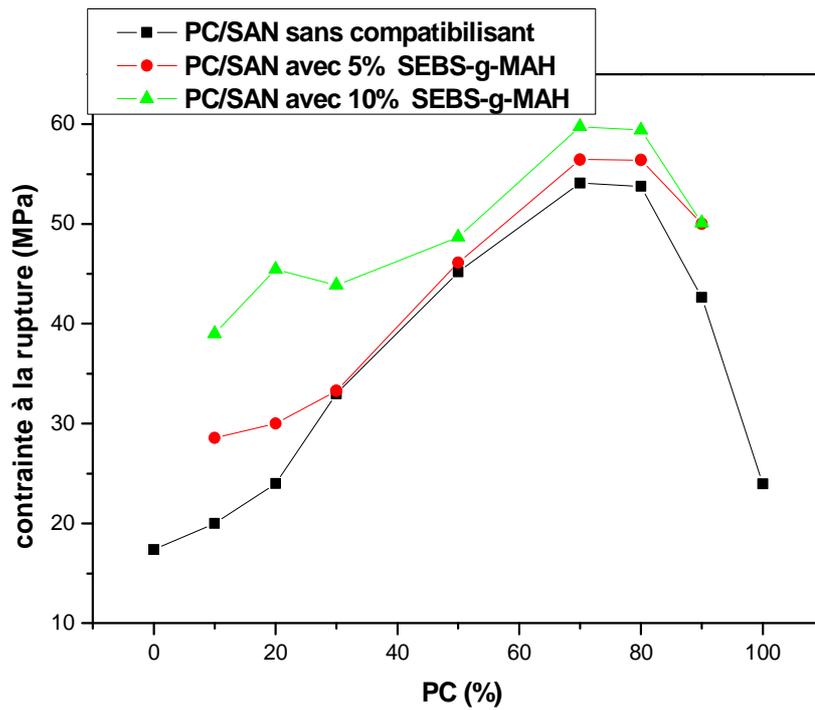


Figure V-5 : Variations de la contrainte à la rupture en fonction du taux de PC pour les mélanges PC/SAN sans et avec compatibilisant SEBS-g-MAH.

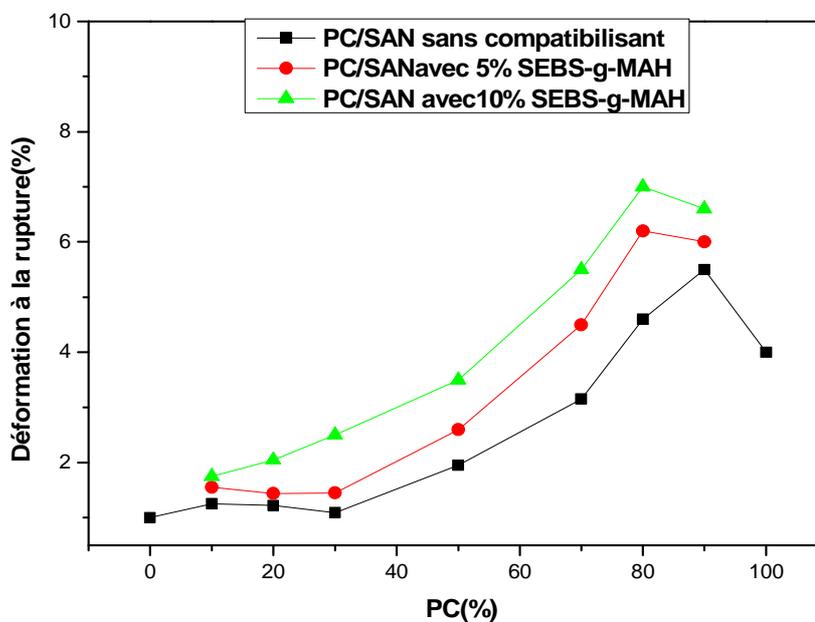


Figure V-6 : Variations de la déformation à la rupture en fonction du taux de PC pour les mélanges PC/SAN sans et avec compatibilisant SEBS-g-MAH.

IV-5 Caractérisation par spectroscopie infrarouge :

La spectroscopie IR constitue un outil assez efficace pour la détection de nouvelles structures résultant des échanges entre les polymères, l'étude elle-même consiste à analyser les pics caractéristiques des deux types de polymères et à déterminer leurs évolution en mesurant les densités optiques correspondantes.

Les spectres IRTF du PC, SAN et leurs mélanges sont présentés ci-dessous. Le spectre du PC pur (figure V-7) montre cinq bandes principales à 3050 cm^{-1} , 2950 cm^{-1} , 1780 cm^{-1} , $1600\text{--}1500\text{ cm}^{-1}$, et entre $1300\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$ qui caractérisent la présence des différentes fonctions (liaisons, groupements).

Le spectre du SAN pur (figure V-7) montre aussi plusieurs pics caractéristiques des vibrations d'élongation et de déformation des liaisons C-H des groupes $-\text{CH}_2-$ qui apparaissent à $3100\text{--}3010\text{ cm}^{-1}$, 2930 cm^{-1} , 2850 cm^{-1} , l'apparition aussi la bande de vibration d'élongation ($-\text{C}=\text{N}-$) à 2235 cm^{-1} [69]. Et l'apparition d'une bande de déformation hors du plan du cycle aromatique C=C à 699 cm^{-1} , La présence de l'anhydride maléique apparaît clairement à 1780 cm^{-1} .

L'ensemble des spectres principaux caractérisent les polymères PC et SAN sont résumés dans les (tableaux V-I, V-II) suivants :

Tableau V-1 : Bandes caractéristiques du polycarbonate (PC)

Polycarbonate (PC)	
Nombre d'onde (cm^{-1})	Assignment des bandes
3050-2950	Vibration d'élongation des liaisons C-H aromatique
1780	Vibration d'élongation du groupement C=O
1600-1500	Vibration d'élongation des liaisons C=C aromatique
1300-1000	vibrations de déformation dans le plan de la liaison C-O

Tableau V-II : Bandes caractéristique du polystyrène-co-acrylonitrile (SAN).

Polystyrène-co-acrylonitrile (SAN)	
Nombre d'onde (cm⁻¹)	Assignation des bandes
3100-3010	vibration de déformation dans le plan des C-H aromatique
2930-2850	Vibration d'élongation du groupement CH ₂
2235	Vibration d'élongation du groupement C≡N
699	Vibration de déformation hors le plan des C=C aromatique

On remarque qu'il n'y a aucune présence de nouvelle bande a part celle de PC et SAN.

Les spectres infrarouges des mélanges de PC/SAN sans compatibilisant ne sont pas trop différents de ceux avec compatibilisant. Ainsi, aucun des pics caractéristiques de PC ou de SAN n'a été modifié. Cela veut dire qu'il n'y a aucune interactions et réactions chimiques, tel que les liaisons principales entre les composants existants. La différence éventuelle entre les spectres sans SEBS-g-MAH et ceux avec SEBS-g-MAH sont due aux interactions entre les constituants du mélange.

L'ensemble des résultats obtenus par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) sont représentés dans les figures (**Fig. V-7, ..., Fig. V-10**).

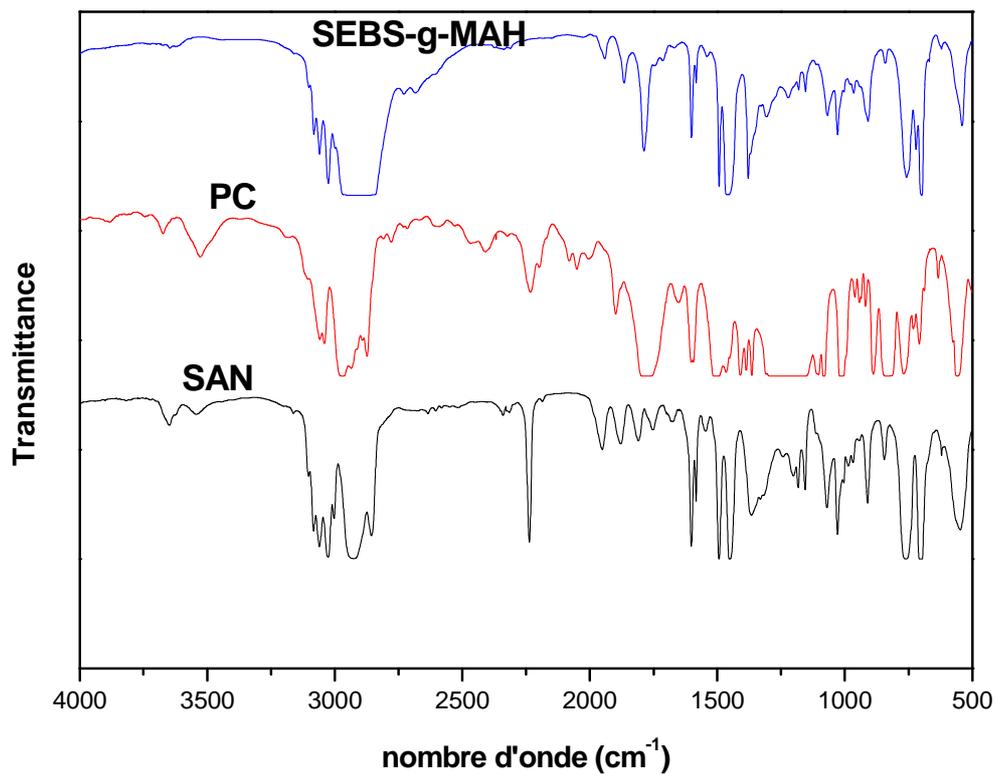


Figure V-7 : les spectres IRTF de PC pur, de SAN, et de SEBS-g-MAH

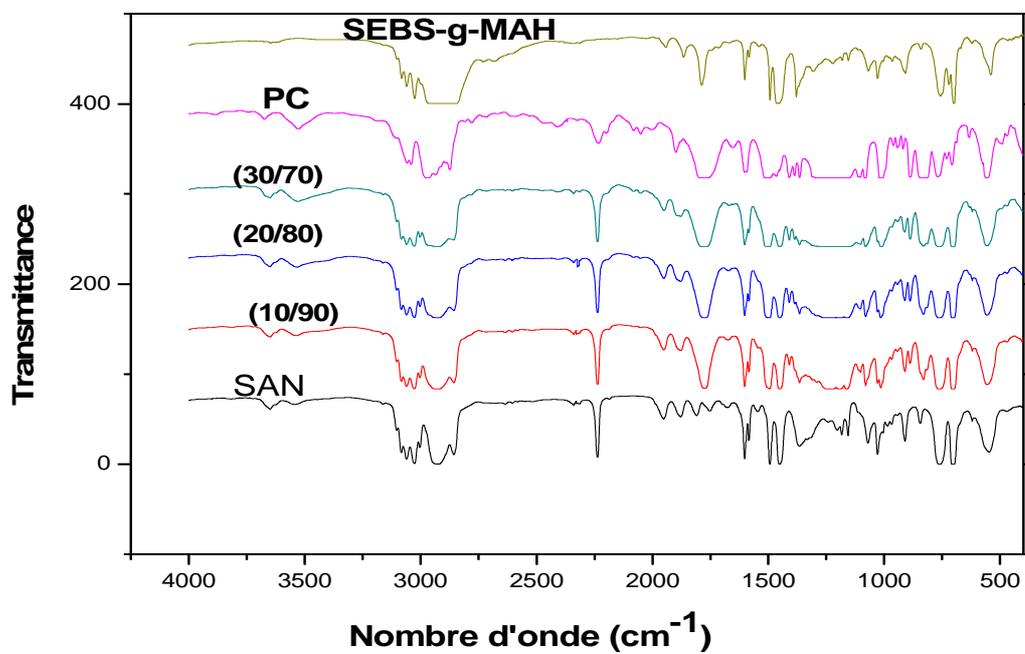


Figure V-8 : Spectres IRTF de différente composition du mélange PC/SAN sans compatibilisant.

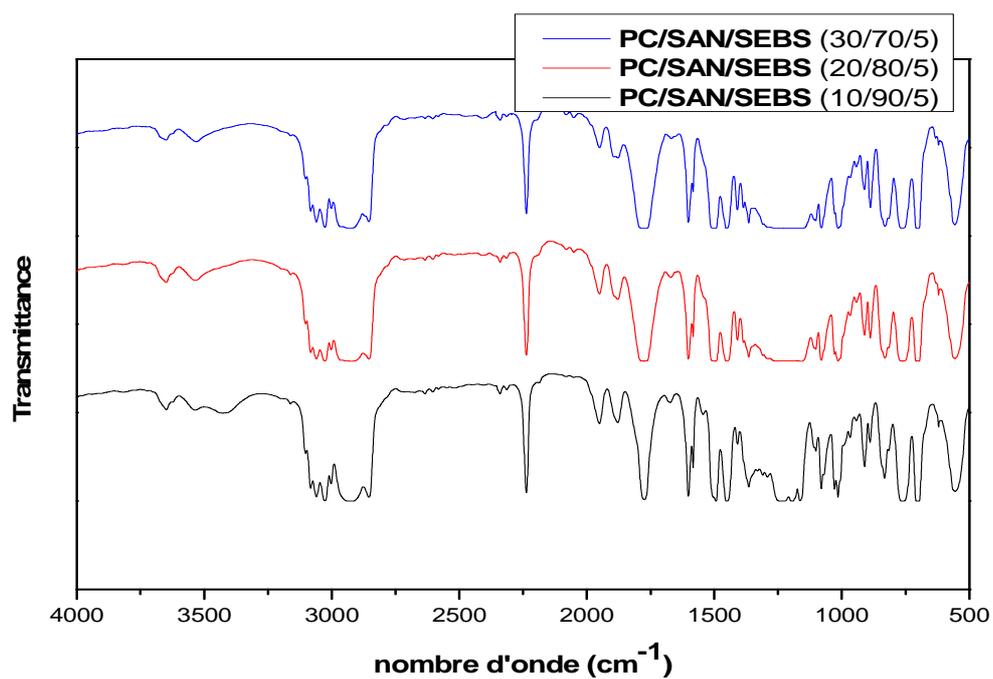


Figure V-9 : les spectres FTIR de différente composition du mélange PC/SAN/SEBS-g-MAH avec (5%).

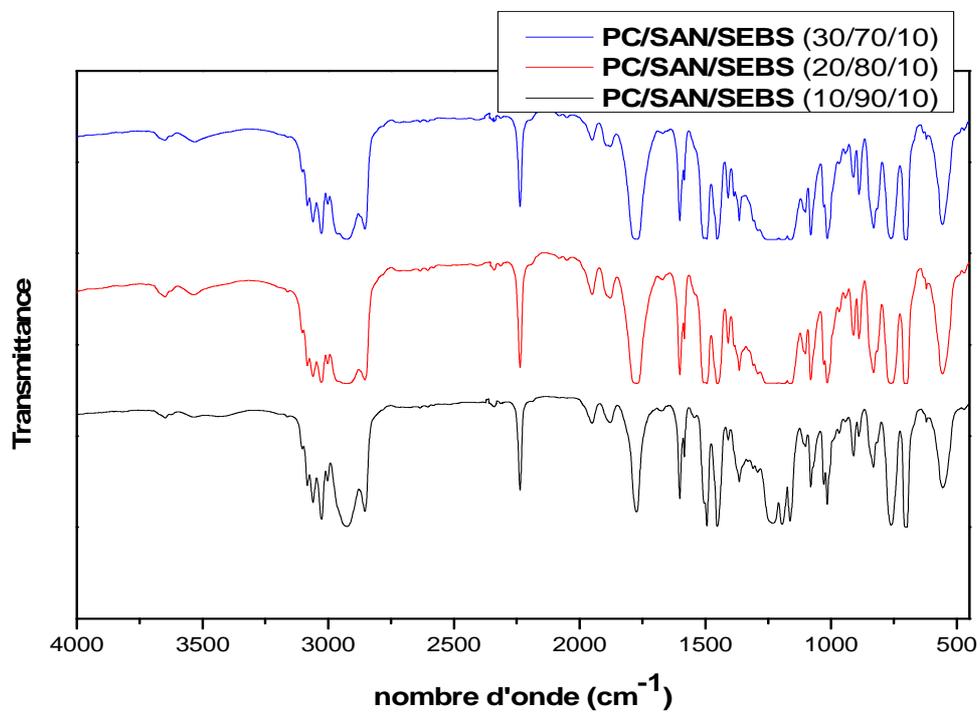


Figure V-10 : les spectres FTIR de différente composition du mélange PC/SAN/SEBS-g-MAH Avec MAH (10%).

IV-6 Résultats d'analyse calorimétrique différentielle (DSC)

Les (Figures V-11,...V-15) représentent les thermogrammes DSC des différents mélanges PC/SAN sans et avec l'agent compatibilisant SEBS-g-MAH

L'étude des propriétés thermiques des mélanges PC et SAN a donné deux valeurs différentes des températures de transition vitreuse de chaque polymère, respectivement égales à 148 et 110 °C

L'étude elle-même consiste à analyser les pics caractéristiques les deux types de polymères. On observe clairement sur les figures seulement la présence des pics qui caractérise la température de transition vitreuse (T_g), sa revient à la phase amorphe qui caractérisé les deux polymères.

Le tableau (V-1) ci-dessous présenté la variation de T_g du PC, SAN pur et le mélange de PC/SAN sans et avec compatibilisant. Les T_g de SAN et PC sont **150°C** et **109.57°C** respectivement, et le tableau (V-II) qui présent les (T_g 's) de différent composition (voir l'annexe). Il apparait que, à mesure que SAN est ajouté à du PC, la T_g de ce dernier connaît d'abord une décroissance monotone puis atteint une valeur plateau. La T_g de SAN connaît une évolution exactement contraire.

D'où la présence de SEBS dans le mélange PC/SAN contribue à la variation de T_g de chaque phase. A partir des figures ci-dessous on distingué deux T_g 's caractérisé le mélange PC/SAN sans compatibilisant, **T_{g1} à 110.58°C** de la phase du SAN et **T_{g2} à 146.3°C** de la phase du PC,

En revanche, deux T_g sont observées dans les mélanges PC/SAN/SEBS-g-MAH compatibilisé avec 5 et 10% du SEBS-g-MAH. Aussi les valeurs de T_g à la présence de SEBS-g-MAH change à **111.32°C** pour la phase du SAN et à **149.59°C** pour la phase du PC. Généralement on parle, La diminution dans la différence de T_g des deux phases implique qu'il ya une amélioration de la compatibilité dans le mélange. La différence de **T_g ($T_{g2} - T_{g1}$) est (38.2-39.95°C)** pour le mélange PC/SAN/SEBS-g-MAH à 5et 10% est supérieure à celui du **35.72°C** dans le PC/SAN. Une évolution similaire a été observée sur les (T_g 's) du mélange PC/SAN par plusieurs auteurs (dont Keitz et al. [70], a été expliquée par le fait que les espèces de faibles masses molaires contenues dans le SAN migraient vers le PC.

Tableau V-1 : la température de transition vitreuse (T_g) du PC, SAN, et ses mélanges sans et avec compatibilisant SEBS-g-MAH, pour la composition (70/30).

Mélange	Taux (%)	T_{g1} (°C)	T_{g2} (°C)	($T_{g2} - T_{g1}$) (°C)
PC	-		150.0	
SAN	-	109.57		
PC/SAN	70/30	110.58	146.3	35.72
PC/SAN/SEBS-g-MAH	70/30/5	111.32	149.52	38.2
	70/30/10	112.17	147.45	39.95

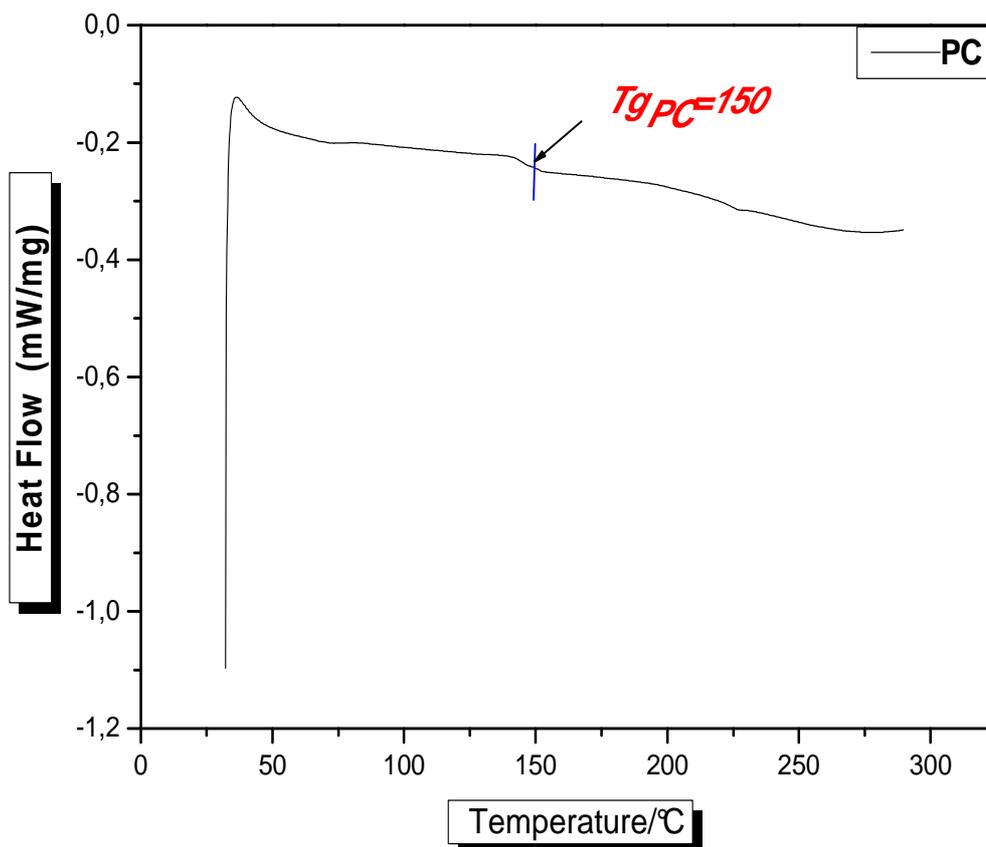


Figure V-14 : Thermogramme DSC du PC pure.

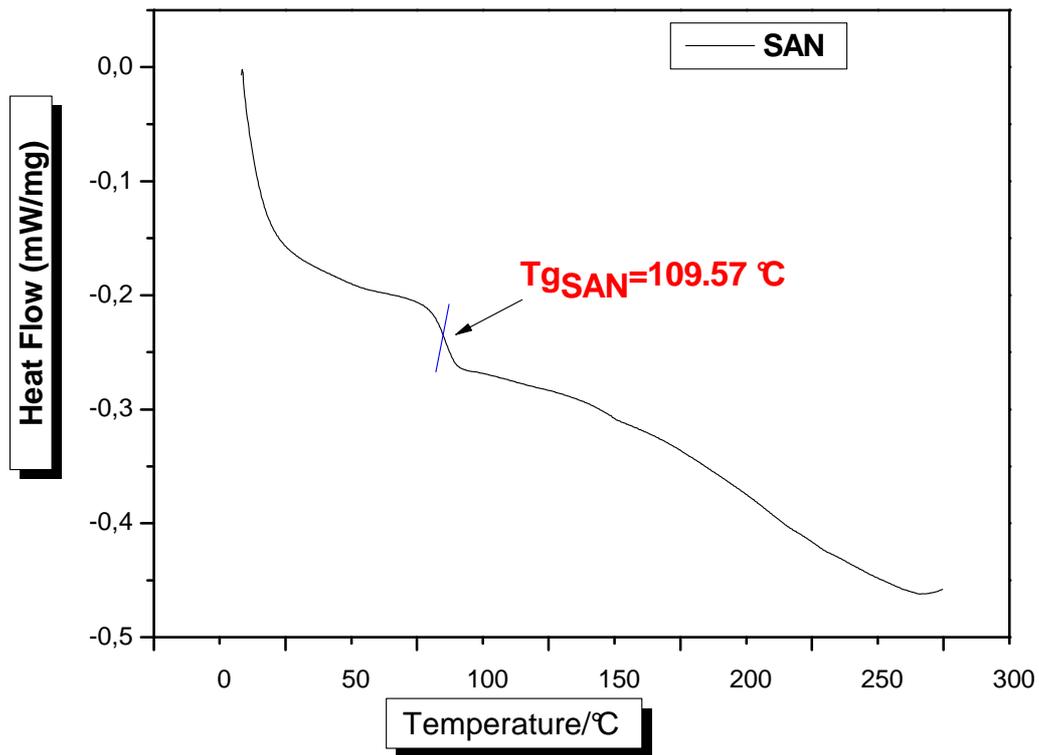


Figure V-15 : Thermogramme DSC du SAN pure.

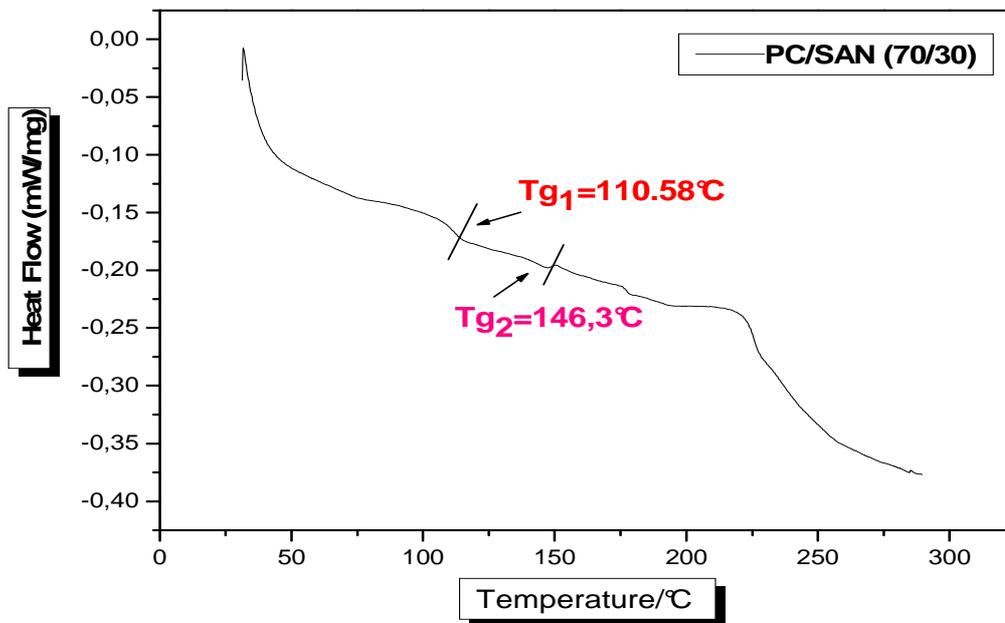


Figure V-16 : Thermogramme DSC du mélange PC/SAN (70/30) sans compatibilisant.

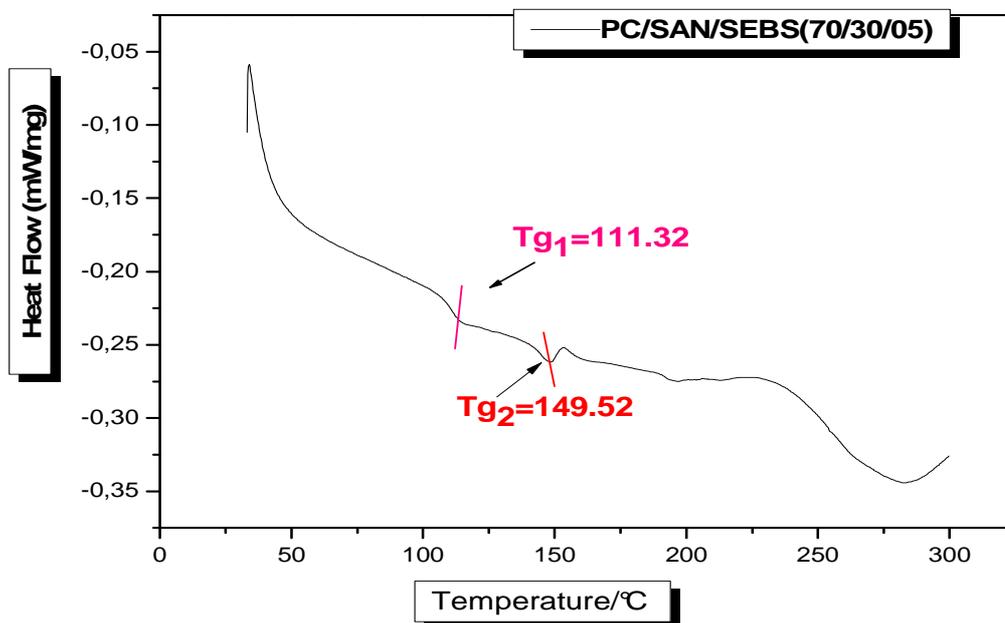


Figure V-17 : Thermogramme DSC du mélange PC/SAN (70/30) avec 5% du SEBS-g-MAH.

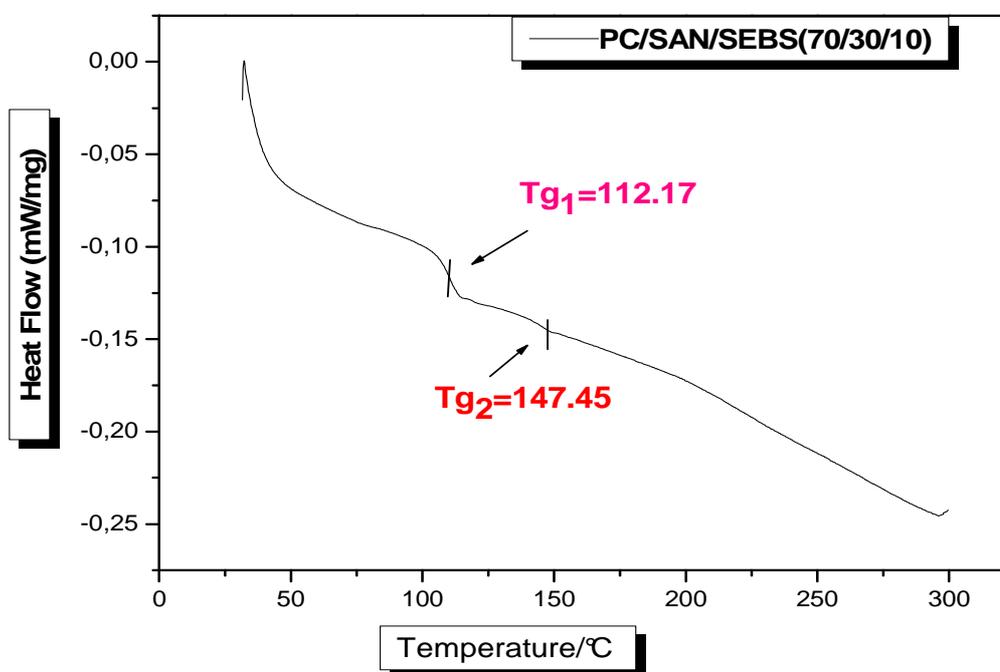


Figure V-18 : Thermogramme DSC du mélange PC/SAN (70/30) avec 10% du SEBS-g-MAH.

Conclusion

Cette étude porte sur le comportement ou bien les propriétés d'un mélange de PC/SAN, compatibilisé avec SEBS-g-MAH, les résultats expérimentaux permettent de tirer les renseignements suivants :

- L'amélioration de la viscosité ou bien l'indice de fluidité (MFI) à été remarquable après l'addition du compatibilisant surtout pour un taux du 10% de SEBS-g-MA.
- La dureté qui caractérise les mélanges PC/SAN diminuent légèrement dans la présence de l'agent compatibilisant avec un taux de 5% et 10% SEBS-g-MAH, L'augmentation du taux de SEBS même provoque une diminution de la dureté Ce résultat peut s'expliquer par l'effet du compatibilisant qui donne ou bien qui rend le mélange compatibilisé mou et souple.
- L'effet de l'addition du compatibilisant dans le mélange PC/SAN dépend fortement de la composition du mélange et de la quantité du SEBS.
- Une nette augmentation de la résilience des mélanges compatibilisés avec l'augmentation du taux de SEBS surtout pour la composition 80/20, 90/10.
- L'addition de PC à la matrice de SAN conduit à l'augmentation de sa résistance au choc et de son allongement.
- diminution dans les valeurs du module de Young des mélanges compatibilisé pour la plupart des compositions par rapport aux mélanges non compatibilisés
- L'essai de traction présente une diminution de la contrainte à la rupture avec l'augmentation du taux de PC.
- L'allongement à la rupture augmente nettement avec l'ajout du PC.
- Les mélanges riche en PC présente un allongement meilleur que celui du SAN, dû à la forte adhésion entre les deux phases de PC et SAN et à l'augmentation de taux du SEBS (10%).

- Les spectres infrarouges des mélanges n'indiquent aucune formation de liaisons chimique entre les composants du mélange, par contre il ya possibilité d'interaction suite à l'ajoute du SEBS-g-MAH et ce qui a été démontré par les essais mécaniques.

- L'analyse DSC présente que SEBS a plus influencé sur Tg de la phase PC que Tg de la phase SAN dans le mélange PC/SAN/SEBS.
- Les résultats de l'DSC confirment que SEBS a un mauvais effet sur la compatibilité du mélange PC/SAN.

RECOMMANDATIONS

Pour mieux enrichir ce travail, il est recommandé de :

- Faire une étude thermodynamique du mélange PC/SAN/SEBS, pour déterminer le facteur d'interaction de Flory Huggins.
- Etude morphologique par microscope électronique à balayage (MEB) pour une observation des phénomènes qui se produisent à l'interface.

REFERENCES

- [1]- Ajji et Utraki, « Introduction to polymère blend, chapitre 2 », polymer blends handbook. Vol. 1, 2002, P. 12
- [2]- Elbaz Mikael. Master nanotechnologie, « les nanocomposites à matrice organique ». France, 2005, P. 3
- [3]- «Réactivité interfaciale et morphologie des mélanges réactifs», [en ligne]. Disponible sur : www.cnrs.fr (consulté le : 8/01/2015).
- [4]- J. P. Trotignon, J. verdu, « Matière plastique, structure propriété et Mise en Œuvre » ed. Nathan, Paris (1996).
- [5]- M.L. BARTHES, “Régénération d’ABS et de PC issus de DEEE sous forme d’alliages de polymères technique ou de nanocomposites”, Thèse de doctorat, Ecole Doctorale des sciences physiques pour l’ingénieur, Mécanique et Ingénierie, Bordeaux, Mars 2010.
- [6]- D.A. FOLATJAR, K. HORN, “Polycarbonate PC”, Technique de l’Ingénieur, traité plastique et composites.
- [7]- O. Labisi, M.T. Show, L.M. Robeson, polymer. Polymer mixibility Academic: (N.Y), 1979.
- [8]- J.M. DUMONT, Polycarbonates, Plastiques et Composites, Techniques de l’ingénieur AM3 381, 2007.
- [9]- J. Jousset, Matière Plastique, Tom III, P.211, Dound, paris (1968).
- [10]- site électronique «<http://mcgroup.co.uk/researches/polycarbonate-pc> » consulté le 22-11-14.
- [11]- H.T PHAM, S. MUNJAL, C.P BOSNYAK, “Polycarbonate, Handbook of thermoplastique”, Ed. OLABISI O, 609-631, 1997.
- [12]- J.M. DUMONT, Polycarbonates, Plastiques et Composites, Techniques de l’ingénieur AM3 381, 2007.

- [13]- M. CARREGA, J.F AGASSANT, M. BIRON, C. CLOZZA, C. DUVAL, J.M. HAUDIN, C. HOUDRET J.P. , MACHON, QUESLEL J.P., B. SEGUELA, VILLOUTREIX G., WIRTH R., Matériaux industriels - Matériaux polymères, Ed.DUNOD, 2000.
- [14]- Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry". Vol 29. Polystyrene and Styrene Copolymers. Wiley Online Library. p. 487
- [15]- J. KEERBULIK, et E. SAUVAGER, " les polymères dans l'optique et le virage", Monographie de l'institut supérieur de plasturgie d'Alençon, Novembre, 2005.
- [16]- Ch. A. HARPER et, E. M. PETRIE, " Plastics materials and processes, a concise encyclopedia " Edition JohnWiley- & SONS, INC, New jersey, 2003.
- [17]- A. W. JOHSON, " Invitation à la chimie organique ", Edition Jones and Bartlett, Paris, 1999.
- [18]- Jump up-Charles A. Harper, ed., *Modern Plastics Handbook*, [ISBN 0-07-026714-6](#), 2000.
- [19]- M. GUESSOUM, « Contribution à L'étude des effets des réactions de transésterification en présence d'un titanate sur les propriétés du système PC/PET», Thèse de doctorat, UFA de Sétif, Algérie, (2007) PP 6.
- [20]- L. LEIBLER, « Thermodynamique des mélanges de polymères - Aspect théorique -Diagramme de phase », Ecole supérieure de physique et de chimie industrielle, Paris, (2003), pp : 38.
- [21]- L. A. UTRACKI, « Melt flow of polymer blends»; Polym. Eng. and Sci., Vol. 123, N° 11, (1983), pp: 602.
- [22]- M. M. Coleman, J.F.Graf, P.Painter." Specific Interactions and the Miscibility of Polymer Blends". Paris: Technomic, 1991, p20-46.
- [23]- V. N. Ignatov, C. Carraro, V. Tartari, R. Pippa, M. Scapin, F. Pilati, C. Berti, M . Toselli and M. Fiorini, Polymer, Vol. 38, 201, (1997).
- [24]- Callaghan, T.A., et al., Polycarbonate-SAN copolymer interaction. Polymer, 1993, 34(18): p. 3796-3808.

[24]- L. Utracki, Commercial Polymer Blends, London: Chapman & Hall, 1998, 658p.

[25]-Tasmin Kossentini Kallel, "étude de mélange PE/PS contribution au recyclage". Thèse INSA de Lyon, 2003, p.14-28.

[26]- D. R. PAUL et J. W. BARLOW, « Polymer blends or alloys », international plastics Exposition Conference, Chicago, (1979).

[27]- W. J. WORK, K. HORIE, et al., « Definition of terms related to polymer blends composites and multiphase polymeric materials », Pure Appl. chem., Vol. 76, N° 11, (2004), pp: 1985-2007.

[28]- S. Datta and D. J. Lohse, " polymeric compatibilizers ". Uses and Benefits in polymer Blends. New York, 1996, P. 531 – 586.

[29]- C. Z. CHAUI, K. ALMADAL et I. JOHANNSEN, « Miscibility evolution of polycarbonate/ polystyrene blends during compounding», Poly. Eng. Sci. Vol. 42, N° 5, (2002), pp: 961-968.

[30]- O. OLABISI, L. M. ROBESON et M. T. SHAW, « Polymer-Polymer miscibility », Academic Press, New York, (1979).

[31]- J. E. MCGRATH, L. M. ROBENSON et M. MATZNER, « Recent advanced in polymer blends, block and grafts», Plenum Press, New York, (1975).

[32]- M. Xanthos, Interfacial Agents for Multiphase Polymer Systems: Recent Advances, Polymer Engineering and Science, 1988, vol. 28, no. 21, p. 1392 – 1400

[33]- R. Fayt, R. Jerome et P. Teyssié, Interface Modification in Polymer Blends In Multiphase Polymer: Blends and Alloys. Edited by L.A. Utracki et R.A. Weiss, Washington: ACS Symposium Series, 1989 pp. 38–66

[34]- M. Xanthos et S. Dagli, « compatibilization of polymer blends by reactive processing ».Polymer engineering and science. Vol. 31, n°13, 1991, P. 929-935.

[35]- C. Koning, V. Van Duin, C. Pagnouille and R. Jérôme, Prog. Polym. Sci., Vol. 23, 707, (1998).

- [36]- G. Wei, H. Sue J. Chu et al., Toughening and Strengthening of Polypropylene Using the Rigid-Rigid Polymer Toughening Concept Part I. Morphology and Mechanical Properties Investigations, *Polymer*, 2000, vol. 41, p. 2947–2960
- [37]- G. Hellmann et M. Dietz, Random and Block Copolymers as Compatibilizers, Directly Compared, *Die Makromolekulare Chemie, Macromolekulare Symposium*, 2001, vol. 170, p. 1–8
- [38]- P. Cigana, B. Favis et R. Jérôme, Diblock Copolymers as Emulsifying Agents in Polymer Blends : Influence of Molecular Weight, Architecture, and Chemical Composition, *Journal of Polymer Science : Part B : Polymer Physics* , 1996, vol.34, p. 1691–1700
- [39]- C. Macosko, P. Guégan, A. Khandpur et al., Compatibilizers for Melt Blending: Premade Block Copolymers, *Macromolecules*, 1996, vol. 29, p. 5590–5598
- [40]- R. Fayt, R. Jérôme et P. Teyssié, Molecular Design of Multicomponent Polymer Systems, 13. Control of the Morphology of Polyethylene/Polystyrene Blends by Block Copolymers, *Macromolekulare Chemistry*, 1986, vol. 187, p. 837–852
- [41]- G. Hu et I. Kadri, Modeling Reactive Blending: An Experimental Approach, *Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics*, 1998, vol. 36, p. 2153–2163
- [42]- H. Potente, M. Bastian, A. Gehring et al., Experimental Investigation of the Morphology Development of Polyblends in Corotating Twin-Screw Extruders, *Journal of Applied Polymer Science* , 2000, vol. 76, p. 708–721
- [43]- H. KAUSH H, N. HEYMANS, C. PLUMMER J, P. DECROLY
Matériaux polymères: Propriétés mécaniques et physiques, Principe de mise en oeuvre. *Traité des matériaux*, Vol. 14, pp. 317 et 461, 2001.
- [44]- S. CIMMINO, F. COPOLCA, et al, *Polymer* Vol. 27, (1986), pp: 1874.
- [45]- M. Saleem, W. Backer, « In situ reactive compatibilization in polymer blend: Effect of functional group concentration ». *Journal of Applied Polymer science*, Vol. 39, 1990, P. 655-678
- [46]- M. Xanthos, and Dagli, S.S. (1988) *Polym. Eng. Sci.*, Vol. 28, 1392-1401

- [47]- J. Lepers, B. Favis et C. Lacroix, The Influence of Partial Emulsification on Coalescence Suppression and Interfacial Tension Reduction in PP/PET Blends, *Journal of Polymer Science : Part B : Polymer Physics* , 1999, vol. 37, p. 939–951
- [48]- S. Milner et H. Xi, How Copolymers Promote Mixing in Immiscible Homopolymers, *Journal of Rheology* , 1996, vol. 40, no. 4, p. 663–687 31
- [49]- U. Sundararaj et C.W. Macosko, Drop Breakup and Coalescence in Polymer Blends: The Effects of Concentration and Compatibilization, *Macromolecules*, 1995, vol. 28, p. 2647–2657
- [50]- A. Nakayama, T. Inoue, P. Guegan et al., Compatibilizers for Melt Blending vs. Reactively Formed Block Copolymers, *Polymer Preprints* , 1996, vol. 34, no. 2, p. 840–841
- [51]- D. Paul et C. Bucknall, Introduction In *Polymer Blends*, Vol.1: Formulation. Edited by D.R. Paul and C.B. Bucknall, New York: Wiley-Interscience, 2000 pp. 1–14
- [52]- V. MASSARDIER, « Etat de l'art concernant la compatibilité des Matières plastiques », Rapport Final, Laboratoire de Matériaux Macromoléculaires, INSA de LYON, France, (2001), pp :73
- [53]- T.S ELLIS, Recycling of polymer blends and mixture, *Polymers blends – Volume 2: Performance*, Eds. PAUL D.R., BUCKNALL C.B., 2000.
- [54]- J. KOLARIK, G. LOCATI, L. FAMBRI, A. PENATI, Effect of partial miscibility on the modulus of Polycarbonate/Poly(styrene-co-acrylonitrile) blends, *Polymer Networks Blends*, 7, 103-110, 1997.
- [55]- R. GRECO, M. IAVARONE “Influence of low molecular weight ABS species on properties of PC/ABS systems “. *Polym Eng Sci*, Vol. 40, N° 7, 2000, pp. 1701-1715.
- [56]- J. D. KEITZ, J. W. BARLOW, D. R. PAUL “POLYCARBONATE BLENDS WITH STYRENE/ACRYLONITRILE COPOLYMERS”. *J Appl Polym Sci*, Vol. 29, N° 10, 1984, pp. 3131-3145.

- [57]- W. N. KIM, C. M. BURNS ‘Phase behavior of blends of polycarbonate with partially miscible polymers’. J Appl Polym Sci, Vol. 41, N° 7-8, 1990, pp. 1575-1593.
- [58]-O.O.SANTANA, M. MASPOCH, A. B. MARTÍNEZ Polycarbonate/acrylonitrile-butadiene-styrene blends: Miscibility and interfacial adhesion. Polym Bull, Vol. 41, N° 6, 1998, pp. 721-728.
- [59]- G. M. HANAFY, S. A. MADBOULY, T. INOUE T. ‘Effects of AN-contents and shear flow on the miscibility of PC/SAN blends’. Polymer, Vol. 45, N° 20, 00323861 (ISSN), 2004, pp. 6879-6887.
- [60]- J. KOLARIK, F. LEDNICKY, M. PEGORARO, Blends of polycarbonate with poly (styrene-co-acrylonitrile): miscibility, interfacial adhesion, tensile properties, and phase structure, Polymer Networks Blends, 3, 147-154, 1993
- [61]- T.W. CHENG, H. KESKKULA, D.R. PAUL, Properties and morphology relationships for ternary blends of polycarbonate, brittle polymers and an impact modifier, Polymer, 33, 1606-1619, 1992.
- [62]- X. LIU, H. BERTILSSON, Recycling of ABS and ABS/PCblends, Journal of Applied Polymer Science, 74, 510-515, 1999.
- [63]- W.Y. CHIANG, G.L. TZENG, Effect of the compatibilizers on flame retardant PC/ABS alloys, Journal of Applied Polymer Science, 65, 795-805, 1996.
- [64]- M. TASDEMIR, Properties of Acrylonitrile-butadiene-styrene/polycarbonate blends with styrene-butadiene-styrene block copolymer, Journal of Applied Polymer Science, 93, 2521-2527, 2004.
- [65]- Y. Zhang, Preparation and Properties of PC/SAN Alloy Modified with Styrene-Ethylene-Butylene-Styrene Block Copolymer, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 106, 637–643 (2007).
- [66]-R. Krache, I. Debbah, Some Mechanical and Thermal Properties of PC/ABS Blends. Materials Sciences and Applications, 2011. 2(5): p. 404-410.

[67]- P. NING, T.M. KO, Influence of miscibility on the morphology and properties of polycarbonate/ (malefic-anhydride)-grafted-polypropylene blend, Polymer Engineering and Science, 37, 1226-1237, 1997.

[68]- A. ALKHUDER, "Structuration des mélanges ABS/PC en vue du recyclage des DEEE" Thèse de doctorat, Materials. Conservatoire national des arts et métiers - CNAM, 2014. French. PP 55.

[69]- Xia. Al. EXPRESS Polymer Letters Vol.4, No.5 (2010) 284–291 Available online at www.expresspolymlett.com DOI: 10.3144/expresspolymlett.2010.36

[70]. Callaghan, T.A., et al., Polycarbonate-SAN copolymer interaction. Polymer, 1993, 34(18): p. 3796-3808.

Tableau A : Résultats de test rhéologique (IF) en fonction du taux de PC ou SAN pour les mélanges sans et avec compatibilisant.

Taux de PC ou de SAN		IF (g /10min)		
		Les formulations Sans agent de compatibilisant	Avec 5 % d'agent compatibilisant	Avec 10 % d'agent compatibilisant
PC(%)	SAN(%)			
0	100	10	-	-
10	90	7,7	8,16	9,37
20	80	7,92	7,2	9
30	70	7	7,52	9,13
50	50	7,24	6,72	7,8
70	30	6,6	5,4	7,68
80	20	5,1	5,2	6,78
90	10	4,88	5,28	5,7
100	0	4,94	-	-

Tableau B : Résultats de test de la dureté (D) en fonction du taux de PC ou SAN pour les mélanges sans et avec compatibilisant.

Taux de PC et de SAN		Dureté D		
		Les formulations Sans agent de compatibilisant	Avec 5 % d'agent compatibilisant	Avec 10 % d'agent compatibilisant
PC(%)	SAN(%)			
0	100	--	-	-
10	90	78,71	77,52	75,89
20	80	78,15	76,88	75,55
30	70	78,3	76,95	74,8
50	50	77,99	75,91	74,89
70	30	77,54	75,28	74,32
80	20	77,69	75,19	74,52
90	10	77,42	74,37	73,95
100	0	--	-	-

Tableau C : Résultats de la variation de la résilience en fonction du taux de PC pour les mélanges sans et avec compatibilisant.

Taux du PC et du SAN		A_n (kJ/m ²)		
		Sans agent de compatibilisant	Avec 5 % d'agent compatibilisant	Avec 10 % d'agent compatibilisant
PC(%)	SAN(%)			
0	100	2,5	-	-
10	90	2,4	3,1	3,4
20	80	3	3,2	3,9
30	70	2,8	3,6	7,3
50	50	3,2	3,3	4,9
70	30	11	13,3	19
80	20	17	19	25,3
90	10	21,4	26	33,4
100	0	33	-	-

Tableau D : Résultats de la variation du module d'élasticité en fonction du taux de PC pour les mélanges sans et avec compatibilisant.

Taux de PC et de SAN		E (Mpa)		
		Sans agent de compatibilisant	Avec 5 % d'agent compatibilisant	Avec 10 % d'agent compatibilisant
SAN(%)	PC(%)			
100	0	2950	-	-
10	90	2720	2620	2560
20	80	2700	2580	2426
30	70	2690	2513	2370
50	50	2500	2290	2086
70	30	2280	2137	1990
80	20	2240	2050	1940
90	10	2320	2010	1900
0	100	2300	-	-

Tableau E : Résultats de la variation de la contrainte à la rupture en fonction du taux de PC pour les mélanges sans et avec compatibilisant.

Taux de PC ou de SAN		δ_{rup} (MPa)		
		Sans agent de compatibilisant	Avec 5 % d'agent compatibilisant	Avec 10 % d'agent compatibilisant
PC(%)	SAN(%)			
0	100	17.35	-	-
10	90	20	28.55	39.0
20	80	24	30	45.43
30	70	33	35.29	43.86
50	50	45.2	46.13	48.7
70	30	54.1	56.43	59.75
80	20	53.76	56.4	59.4
90	10	42.65	50	50.1
100	0	23.95	-	-

Tableau F : Résultats de la variation de l'allongement à la rupture en fonction du taux de PC pour les mélanges non traités et traités

Taux de PC et de SAN		ϵ_{rup} (%)		
		Sans agent de compatibilisant	Avec 5 % d'agent compatibilisant	Avec 10 % d'agent compatibilisant
PC(%)	SAN(%)			
0	100	1	-	-
10	90	1,25	1,55	1,75
20	80	1,22	1,44	2,05
30	70	1,09	1,45	2,5
50	50	1,95	2,6	3,5
70	30	3,15	4,5	5,5
80	20	4,6	6,2	7
90	10	5,5	6	6,6
100	0	4	-	-

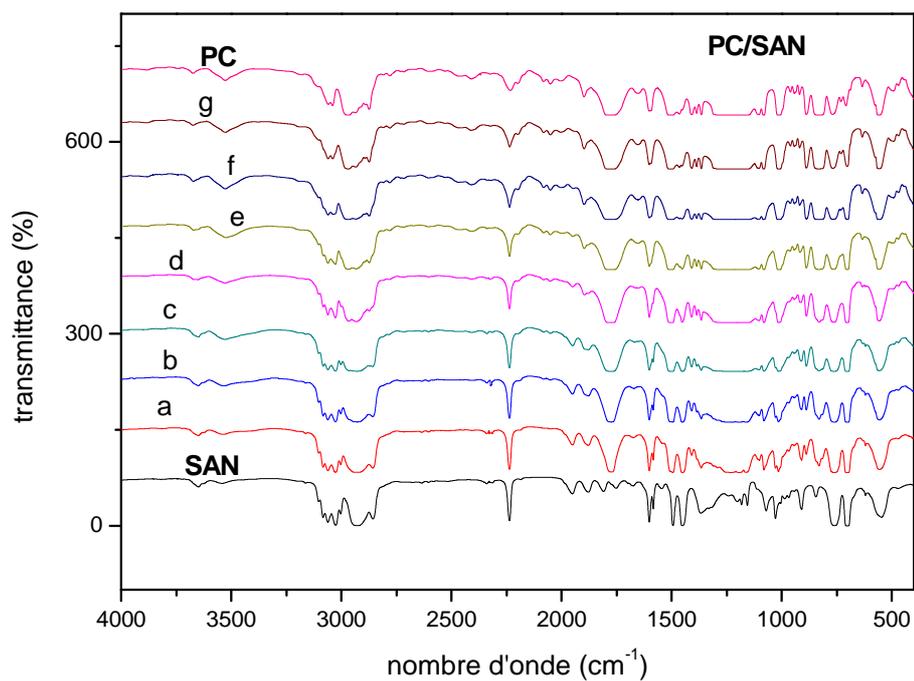


Figure V-11 : les spectres FTIR de différente composition du mélange PC/SAN san compatibilisant.

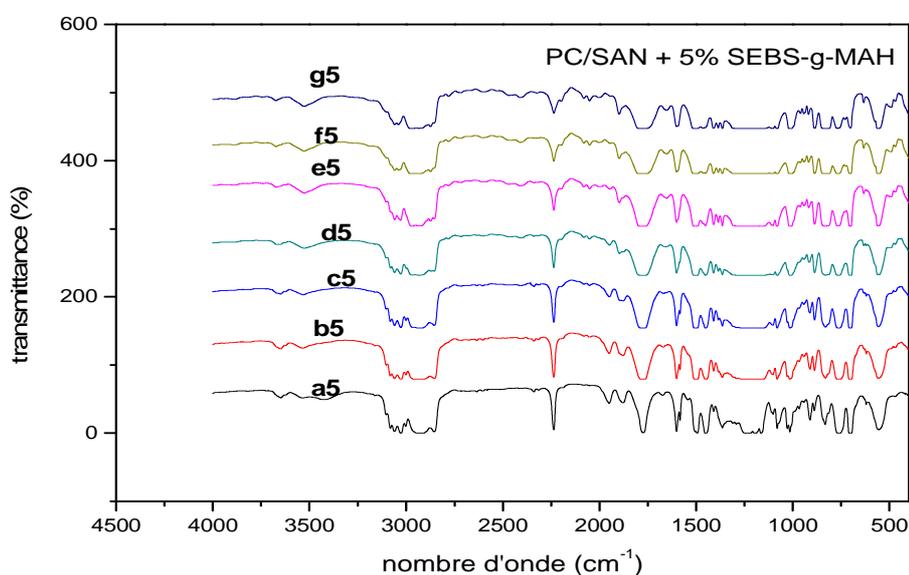


Figure V-12 : les spectres FTIR de différente composition du mélange PC/SAN avec 5% du SEBS-g-MAH.

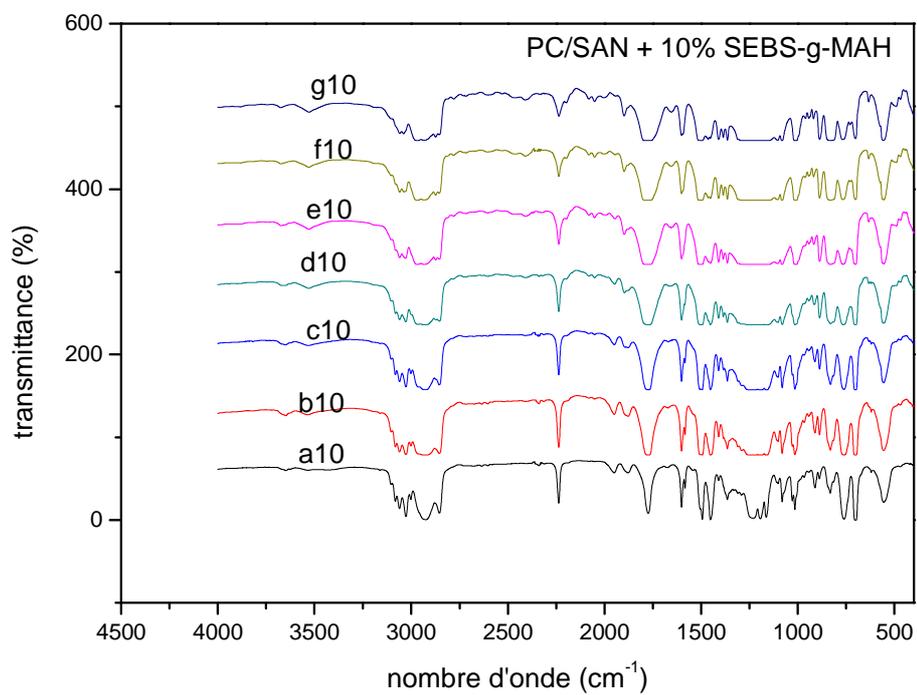


Figure V-13 : les spectres FTIR de différente composition du mélange PC/SAN avec 10% du SEBS-g-MAH.

Tableau V-II : variation de la température de transition vitreuse pour les différentes compositions du mélange PC/SAN sans et avec compatibilisant.

PC/SAN	T _{g1} °C (SAN)	T _{g2} °C (PC)
100/0	-	150
90/10	112.5	149.66
80/20	111.1	148.2
70/30	110.58	147.38
50/50	110.42	148.33
30/70	110.34	146.85
20/80	110.51	147.42
10/90	109.57	146.4
0/100	109.57	
PC/SAN /SEBS-g-MAH (5%)		
10/90/5	110.22	148.40
20/80/5	110.44	148.33
30/70/5	109.88	146.64
50/50/5	110.16	149.17
70/30/5	111.32	149.52
80/20/5	N.M	N.M
90/10/5	N.M	N.M
PC/SAN /SEBS-g-MAH (10%)		
10/90/10	110.37	147.17
20/80/10	111.28	145.45
30/70/10	111.88	146.43
50/50/10	110.30	149.78
70/30/10	112.17	152.12
80/20/10	109.73	150.09
90/10/10	110.86	149.17

Résumé:

Ce travail porte essentiellement sur l'étude mécanique, rhéologique, et thermique des mélanges à base de polycarbonate (PC) et de poly (styrène-co-acrylonitrile) sans et avec un agent de compatibilisant SEBS-g-MAH à différentes proportions.

Lés mélanges ont été préparé par malaxage à l'état fondu à l'aide d'un mélangeur interne, l'effet de la composition des mélanges du polycarbonate et du poly (styrène-co-acrylonitrile) sans et avec agent compatibilisant SEBS-g-MAH a été suivi par des études ; rhéologiques (indice de fluidité), mécaniques (traction, choc, dureté), thermiques (DSC), et spectroscopique (FTIR).

Les résultats ont montré que la présence de l'agent compatibilisant (SEBS-g-MAH) permet de réduire la tension interfaciale et aussi diminuent la dureté , ce qui donne un comportement mou et souple aux mélange sans modification de la structure chimique d'où une amélioration des propriétés mécaniques tel que la résistance au choc.

Mots-clés : Polycarbonate ; SAN ; Compatibilité ; mélange ; propriétés.

Abstract:

The mechanical, rheological, and thermal study of the blends of polycarbonate (PC) with polystyrene-acrylonitrile (SAN) with and without a compatibilizer in different proportion.

PC/SAN/SEBS-g-MAH Melt blending was carried out in an internal mixer, the effect of blend composition of (PC/SAN) with and without a compatibilizer to been followed by studied; rheological (melt flow index (MFI)), mechanical (tensile strength, elongation at break, impact strength and toughness), and thermal (DSC), and imbedded fiber retraction (IFR) technique.

The results reveal that the presence of the compatibilizer a styrene- ethylene butylenes-styrene -block copolymer grafted with maleic anhydride allowed the compatibilization of these polymers and reduce the interfacial tension and decrease the hardness of blend, on the other hand the blend have a rubber behaviour without any modification of chemical structure and The results showed that the addition of SEBS-g-MAH could obviously increase the Izod notched impact strength and the elongation at break and decrease the tensile strength.

Key words: polycarbonate; SAN; compatibility; blend; propriety.

الخلاصة:

يركز هذا العمل على الدراسة الميكانيكية، الريولوجية، و الحرارية للمزيج من البولي كربونات و البولي ستيران اكريلونيتريل مع اضافة عامل اختلاط SEBS-g-MAH بتركيبات مختلفة.

أعد الخليط المكون من البولي كربونات و البولي ستيران اكريلونيتريل مع اضافة عامل اختلاط عن طريق الإنصهار باستعمال جهاز يسمى Mélangeur interne دون و مع اضافة عامل اختلاط الى المزيج في التركيبات ، وقد تمت متابعة الدراسة الريولوجية (مؤشر السيالان)، الميكانيكية (الجذب، الصدم، الصلابة) و الحرارية، والميكروسكوبية. أظهرت النتائج أن اضافة عامل اختلاط SEBS-g-MAH الى الخلائط يسمح بتقليص الجاذبية السطحية وكذا الصلابة بين كل من البولي كربونات و البولي ستيران اكريلونيتريل والذي يعطي السلوك المطاطي للخليط دون تغيير في البنية الكيميائية مع تحسين الخصائص الميكانيكية للمزيج.

كلمات البحث: البولي كربونات، البولي ستيران اكريلونيتريل، المزج، خليط، خصائص.