

# RECYCLAGE, PAR EXTRUSION BIVIS DE DÉCHETS PLASTIQUES MÉLANGÉS ISSUS DES ORDURES MÉNAGÈRES

Jean-Michel Lentin\*, Maurice Mazza\*, André Thouzeau\*\*  
CRITT Polymères Picardie\*, Ineris\*\*

**Les caractéristiques mécaniques et morphologiques des déchets de plastiques mélangés dépendent des conditions de malaxage à chaud et des proportions des différents constituants. En revanche, elles sont assez peu affectées par l'introduction de « compatibilisants », guère efficaces dans des mélanges aussi complexes.**

**Mechanical and morphological characteristics of mixed plastics waste depend on hot mixing conditions on a quantity of each component. However, compatibility agents, which are not really efficient in such complex mix, have nearly none influence on these characteristics.**

## INTRODUCTION

Suite aux réglementations édictées par l'Union Européenne puis reprises au plan national, la valorisation des déchets d'emballages ménagers et des déchets industriels banals (DIB) est devenue indispensable.

Par rapport à des matériaux comme le verre ou le papier/carton, la valorisation matière - ou recyclage - des plastiques issus des ordures ménagères est encore modeste.

Le recyclage des plastiques mélangés est singulièrement compliqué par le fait que, à de très rares exceptions près, il y a incompatibilité entre les différentes familles de polymères. De ce comportement découlent les deux procédés existant aujourd'hui : tri sélectif des plastiques par famille, puis mise en œuvre de chaque matière sur les machines classiques utilisées en plasturgie ou mise en œuvre des plastiques en mélange sur des machines spéciales, à haut pouvoir de malaxage.

C'est cette dernière voie qui a été retenue par l'Ineris pour étudier l'influence des conditions de malaxage sur des déchets de plastiques mélangés issus d'ordures ménagères.

A travers la littérature, on relève relativement peu de publications portant sur des mélanges aussi complexes. Ceci contraste avec l'abondance des travaux sur des mélanges à deux constituants polymères. De plus, il est souvent choisi de travailler avec des polymères vierges aux caractéristiques mieux connues et plus constantes.

Cependant les études à partir de déchets plastiques sont en augmentation<sup>[1,2,3]</sup>, surtout depuis la mise en place des réglementations sur la valorisation des déchets.

## MATIERES ET ADDITIFS

### Les déchets plastiques

Ils proviennent d'une collecte sélective d'ordures ménagères. Ils ont subi, sur site industriel, les traitements suivants : élimination des lourds (verre, ferrailles,...), lavage, broyage et séparation par flottation en deux fractions, séchées et fournies séparément :

- une fraction « légère » de densité inférieure à 1, constituée essentiellement de polyoléfines,
- une fraction « lourde » de densité supérieure à 1, constituée essentiellement de polyéthylène téréphtalate (PET), polychlorure de vinyle (PVC) et divers.

### Les compatibilisants

Ce sont des copolymères séquencés ou greffés choisis parmi différentes familles :

- Terpolymères acryliques maléïsés ou époxydés :
  - éthylène/acrylate d'éthyle/anhydride maléïque : Lotader 4 700 et 3 210 (Elf Atochem),
  - éthylène/acrylate de méthyle/méthacrylate de glycidyle : Lotader AX 8 900 (Elf Atochem) Elvaloy AM (Du Pont),
- Copolymères séquencés styréniques :
  - styrène/éthylène - butylène/styrène (SEBS) : SEBS : Kraton G 1652 (Shell), SEBS maléïsé : Kraton FG 1901 (Shell),
- Polyoléfines fonctionnalisées :
  - Polyéthylène basse densité (PEbd) maléïsé : Fusabond MB 226 D (Du Pont),
  - Polypropylène (PP) maléïsé : Exxelor (Exxon).

## MÉTHODOLOGIE

On procède selon les étapes suivantes :

- mélange des fractions légère et lourde dans un mélangeur Lodige,
- extrusion et granulation des mélanges sur un extrudeur-

malaxeur baxis corotatives Clextral BC 21 équipé d'une filière à joncs,

- injection des granulés sur une presse Fast-Inject DE 90 tonnes afin d'obtenir des éprouvettes pour essais mécaniques (éprouvettes « haltères » et « barreau »),
- essais mécaniques en traction (norme ISO R 527), flexion (norme ISO 178) sur dynamomètre Instron et choc Charpy (norme ISO 179) sur mouton-pendule Zwick.

La morphologie des joncs extrudés est observée au microscope électronique à balayage (microscope Philips) sur des zones de fracture dans l'azote liquide.

La composition du déchet - préalablement extrudé sous forme de joncs dans le but d'homogénéiser la matière - est déterminée par l'association de 3 techniques analytiques : RMN (résonance magnétique nucléaire) ; DSC (analyse calorimétrique différentielle) ; dosage du chlore.

## RÉSULTATS

### Composition du déchet

Elle figure dans le tableau 1. Les pourcentages indiqués sont des valeurs moyennes entre les différentes prises d'essais et les résultats des 3 techniques d'analyse.

La composition du gisement de déchets est d'environ 65 % de fraction légère et 35 % de fraction lourde.

Tableau 1 : Composition du déchet

	Nature du polymère	Teneur %
Fraction légère (d < 1)	Polyéthylène basse densité (PEbd)	64
	Polyéthylène haute densité (PEhd)	31
	Polypropylène (PP)	5
Fraction lourde (d > 1)	Polyéthylène téréphtalate (PET)	56
	Polychlorure de vinyle (PVC)	19
	Polystyrène (PS) + divers	25

### Mise en oeuvre du déchet - Caractéristiques des produits obtenus

#### Influence de la fraction lourde

##### Mode opératoire

On fait varier la teneur en fraction lourde dans le mélange entre 0 % et 50 % en poids. Les conditions d'extrusion sont fixées :

- température = 200 °C,
- débit matière = 5 kg/heure,
- vitesse de rotation des vis = 400 tours/minute.

##### Résultats

La fraction lourde apporte de la rigidité et de la fragilité au matériau qui se traduisent par une augmentation du module d'élasticité en traction (figure 1) et une diminution de la résilience, de la contrainte, et de l'allongement à la rupture.

L'examen morphologique des joncs extrudés montre que la fraction lourde est dispersée sous forme de « nodules » au sein de la fraction légère tenant lieu de matrice : on est en

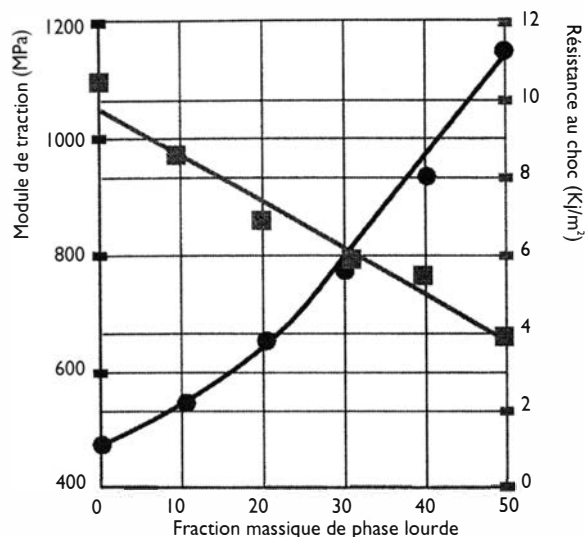


Figure 1 : Influence de la teneur en fraction lourde sur le module de traction (●) et sur la résilience (■)

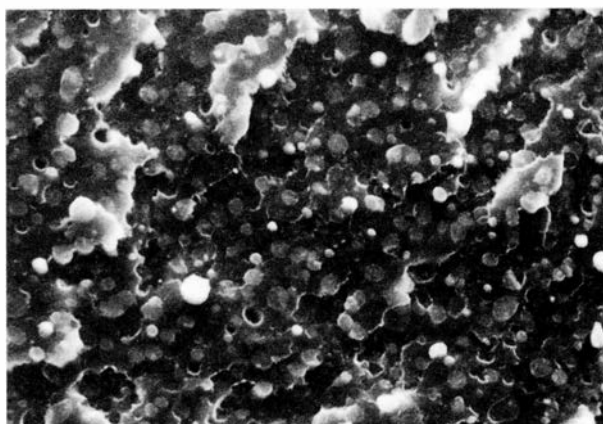


Figure 2 : Vue au microscope à balayage de la dispersion des « nodules » de phase lourde dans la matrice polyoléfinique

présence d'un mélange à plusieurs phases incompatibles (figure 2).

#### Influence des conditions d'extrusion

##### Mode opératoire

La composition du mélange est fixée à 65 % en poids de fraction légère et 35 % de fraction lourde.

On fait varier les conditions d'extrusion dans les limites suivantes :

- température du fourreau : entre 160 °C et 220 °C,
- débit matière : entre 2 kg/heure et 10 kg/heure,
- vitesse de rotation des vis : entre 200 tours/minute et 500 tours/minute.

##### Résultats

La rigidité du matériau, traduite par le module de traction ou de flexion (figures 3 et 4) augmente avec la température du fourreau et la vitesse de rotation des vis ; elle diminue lorsque le débit matière croît. Les variations de la rési-

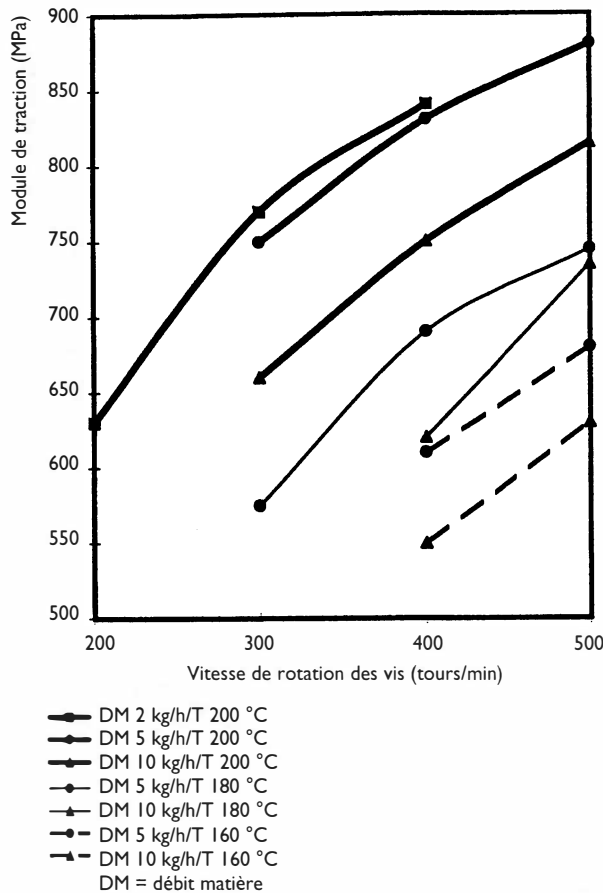


Figure 3 : Influence de la vitesse de rotation des vis sur le module de traction pour différents débits et températures de fourreau

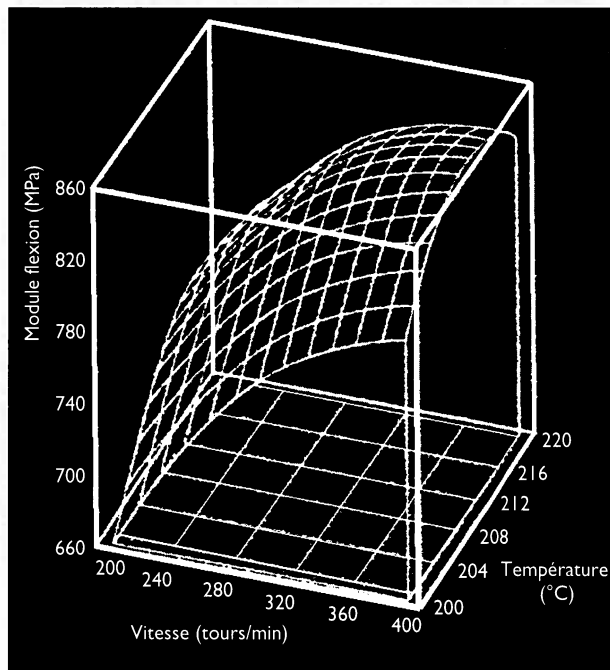


Figure 4 : Influence de la température et de la vitesse de rotation des vis sur le module de flexion

lience et de l'allongement à la rupture sont plus aléatoires.

### Influence des compatibilisants

#### Mode opératoire

On incorpore 5 % ou 10 % de compatibilisant dans des mélanges constitués de 65 % de fraction légère et 35 % de fraction lourde.

Les conditions d'extrusion sont fixées ainsi :

- température : 210 °C,
- débit matière : 5 kg/heure,
- vitesse de rotation des vis : 400 tours/minute.

#### Résultats

Dans l'ensemble, les compatibilisants utilisés ont tendance à assouplir le matériau avec diminution du module d'élasticité en traction et augmentation plus ou moins importante de l'allongement à la rupture et de la résilience ; la contrainte maximale, à la rupture, reste relativement constante (figure 5).

L'influence la plus notable est obtenue avec les Kraton G 1652 et FG 1901 (copolymères séquencés SEBS) et le Lotader 4 700 (terpolymère éthylène/acrylate d'éthyle/anhidride maléique).

## DISCUSSION

La rigidité et la fragilité du mélange augmentent lorsque :

- le taux de fraction lourde augmente,
- la taille des « nodules » de fraction lourde diminue, sous l'effet d'un cisaillement accru, consécutif à une plus grande vitesse de rotation des vis de l'extrudeuse. On augmente ainsi la surface de contact entre les différentes phases en présence,
- le temps de séjour de la matière dans l'extrudeuse s'allonge : cas d'une diminution du débit matière, à vitesse de rotation des vis constante. On augmente ainsi le temps de contact à chaud entre les différentes phases en présence,
- la température de la matière s'élève, par augmentation de la température du fourreau et/ou par auto-échauffement lié au cisaillement. On réduit la viscosité du milieu et on favorise les interdiffusions aux interfaces des différentes phases en présence.

Le PVC, qui commence à se dégrader vers 200 °C, en libérant de l'acide chlorhydrique très corrosif, est un obstacle pour travailler au-dessus de 240 °C, point de fusion du PET. Compte tenu de la composition du déchet, on a choisi des compatibilisants comportant à la fois :

- des segments de chaîne polyoléfiniques, en vue de rechercher une affinité avec la fraction légère (matrice),
- des segments de chaîne polaires en vue de rechercher une affinité avec, sinon la totalité, au moins une partie de la fraction lourde (PET, PVC, PS...).

L'effet notable du Lotader 4 700 peut s'expliquer par la teneur élevée en motifs polaires dans ce terpolymère (30 % en poids d'acrylate d'éthyle et 2 % d'anhidride maléique). L'effet également notable des Kraton G 1 652 et FG 1 901, est plus inattendu, car le mélange de déchets plastiques est assez pauvre en polystyrène. En fait, les séquences polystyrène de ces compatibilisants du type SEBS pourraient éga-

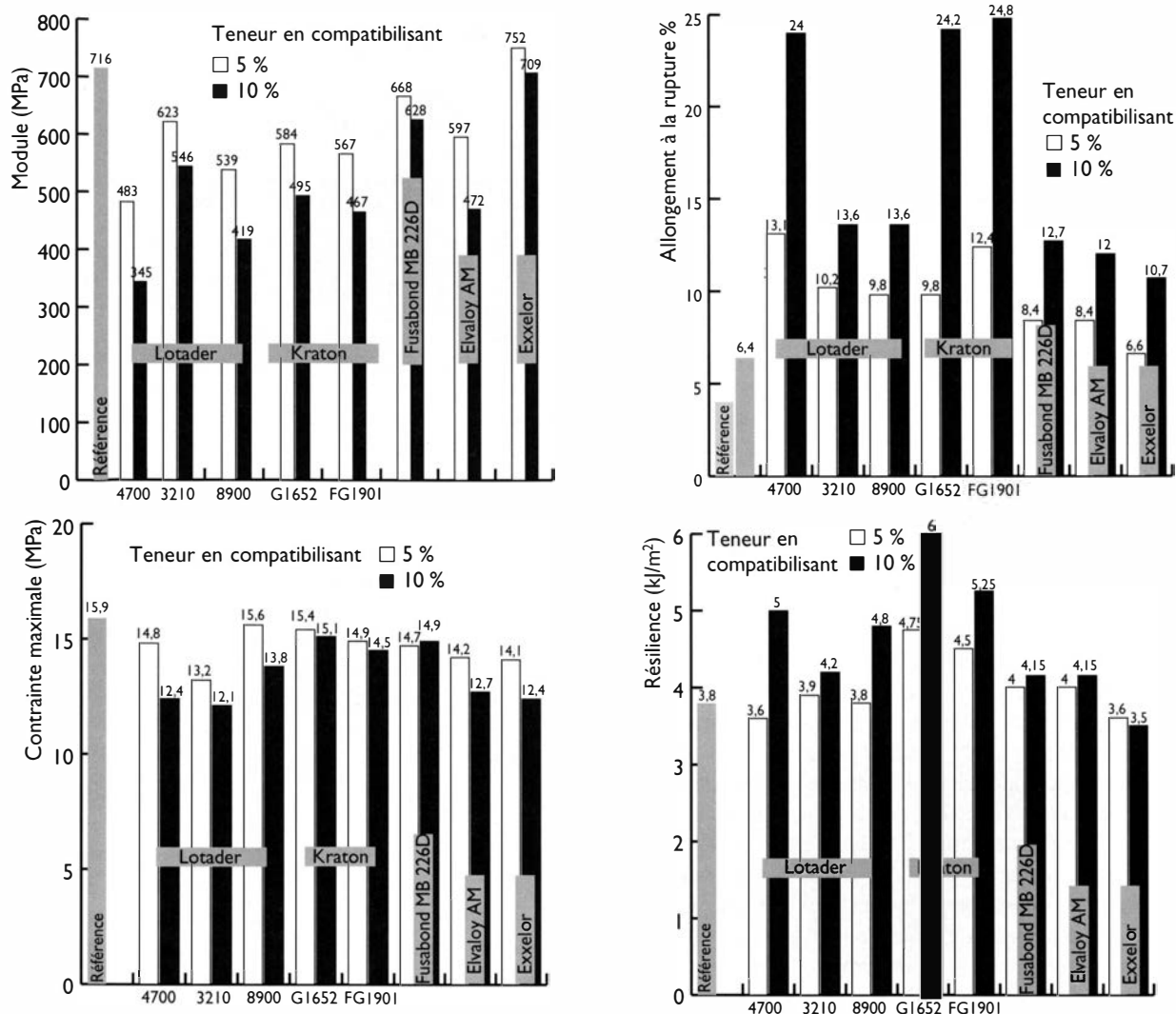


Figure 5 : Influence des compatibilisants

lement avoir une affinité avec les noyaux aromatiques du PET<sup>(4)</sup> (le PET constitue l'élément majoritaire de la fraction lourde).

### CONCLUSION

Le recyclage des déchets plastiques mélangés issus des ordures ménagères, par extrusion, conduit à des produits aux caractéristiques mécaniques assez médiocres. Plutôt que d'introduire des compatibilisants, onéreux et relativement peu efficaces, on a intérêt à contrôler la teneur en fraction lourde (PET, PVC, PS et divers) et à optimiser les conditions d'extrusion en travaillant avec des températures, taux de cisaillement et temps de séjour les plus élevés possibles.

\* **Jean-Michel Lentin, Maurice Mazza**  
Critt Polymères Picardie

\*\***André Thouzeau**  
Ineris - BP n° 2 - 60550 Verneuil-en-Halatte

### Note de la rédaction :

Les conclusions de ce travail, quant à l'efficacité relative des compatibilisants se doivent d'être prises en compte dans le cas du mélange réel, objet de l'étude. Nous souhaiterions, afin d'enrichir ce type d'approche, accueillir des articles relatifs au rôle et aux performances des compatibilisants dans d'autres configurations.

### Bibliographie

- [1] Valérie Frèrejean. Mélange de polymères thermoplastiques PE-PS-PVC. Application au recyclage. Thèse 1994 - Insa Lyon.
- [2] Sahnoune Karrad. *Mélanges composites PEHD - PS - Talc*. Application au recyclage. Thèse 1995 - Université de Montpellier 2.
- [3] Benoît Leseur. *Étude de la mise en œuvre de mélanges de polymères vierges ou de déchets, émulsifiés par des copolymères greffés*. Thèse 1992 - Université de Montpellier 2.
- [4] J.W. Barlow, D.R. Paul, T.D. Traugott. *Mechanical compatibilisation of high density polyethylene - PET blends*. Journal of applied polymer science, 1983, vol. 28, p. 2947.