



HAL
open science

Etude du comportement rhéologique et mécanique de composites recyclés et pollués : recyclage iso fonction, rêve ou réalité? = Study of rheological and mechanical behaviour of recycled and polluted composites : iso function recycling, dream or reality

Nadia Balhouli, Daniel Pessey, Yves Rémond, Claude Raveyre, Jacques Guillet, Jean-Marie Hiver, Abdesselam Dahoun, Saïd Ahzi

► **To cite this version:**

Nadia Balhouli, Daniel Pessey, Yves Rémond, Claude Raveyre, Jacques Guillet, et al.. Etude du comportement rhéologique et mécanique de composites recyclés et pollués : recyclage iso fonction, rêve ou réalité? = Study of rheological and mechanical behaviour of recycled and polluted composites : iso function recycling, dream or reality. JNC 16, Jun 2009, Toulouse, France. 7 p. hal-00385147

HAL Id: hal-00385147

<https://hal.science/hal-00385147>

Submitted on 11 Jun 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Etude du comportement rhéologique et mécanique de composites recyclés et pollués : recyclage iso fonction, rêve ou réalité ?

Study of rheological and mechanical behaviour of recycled and polluted composites : iso function recycling, dream or reality?

**N. Bahlouli¹, D. Pessey¹, Y. Rémond¹, C. Raveyre², J. Guillet²,
et J.M Hiver³, A. Dahoun³, S. Ahzi¹,**

1 : Université de Strasbourg, IMFS- CNRS,
2 rue Boussingault, 67000 Strasbourg, France
e-mail : Nadia.Bahlouli@unistra.fr, Yves.Remond@unistra.fr, Said.Ahzi@unistra.fr,

2 : Université Jean Monnet, Laboratoire de Rhéologie des Matières Plastiques. UMR 5223 CNRS, 23 Rue Paul Michelon, 42023 Saint-Étienne Cedex 2, France
e-mail : raveyre@univ-st-etienne.fr, guillet_j@univ-st-etienne.fr

3 : Ecole des Mines de Nancy, Laboratoire de Physique des Matériaux, UMR 7556 CNRS, Parc de Saurupt, 54000 Nancy, France
e-mail : Jean-Marie.Hiver@mines.inpl-nancy.fr, dahoun@mines.inpl-nancy.fr

Résumé

Nous étudions les effets de la pollution et du recyclage sur deux composites à matrice polypropylène. Ces effets ont été identifiés non seulement par la mesure du poids moléculaire et des propriétés rhéologiques mais aussi sur les caractéristiques mécaniques. Les polluants modèles choisis sont de l'éthylène glycol majoritairement présent dans le liquide de frein et de l'huile moteur. Ils ont été incorporés dans les composites en cours du process d'extrusion. Le recyclage a été simulé en effectuant plusieurs cycles d'extrusions successifs. Les échantillons ont été recyclés de 1 à 12 fois. Toutes ces nuances ont été testées. L'indice de fluidité, la viscosité, les propriétés en traction quasi statique ainsi que en compression dynamique ont été mesurés. Les polluants affectent davantage les propriétés rhéologiques par rapport aux propriétés mécaniques. Le recyclage thermomécanique, quant à lui, est principalement préjudiciable sur le comportement à rupture. Le résultat remarquable concerne l'effet modérateur des polluants sur la dégradation due au recyclage des propriétés des matériaux.

Abstract

We study the effects of pollution and recycling in two polypropylene matrix composites. These effects have been identified not only by measuring the molecular weight and rheological properties but also on the mechanical properties. The pollutants selected models are mainly ethylene glycol present in the brake fluid and engine oil. They were incorporated into the composite during the extrusion process. Recycling has been simulated by performing several cycles of successive extrusions. The samples were recycled from 1 to 12 times. All these grades have been tested. The melt index, viscosity, tensile properties under quasi-static loading and dynamic compression were measured. More pollutants affect the rheological properties compared to the mechanical properties. Thermomechanical recycling becomes detrimental in regards of deformation at break. The remarkable result concerns the moderating effect of pollutants on the degradation due to the recycling on the properties of materials.

Mots Clés : recyclage, contamination, pollution, polymères, composites

Keywords : recycling, contamination, pollution, polymers, composites.

1. Introduction

La forte croissance de l'utilisation des polymères dans l'industrie automobile, particulièrement pour les pièces de semi structures ont entraîné une augmentation conséquente des déchets plastiques. Le gouvernement européen s'est donc vu obligé de légiférer afin de réduire ces déchets. Dans l'industrie automobile, les métaux sont facilement recyclables ce qui n'est pas le cas des matériaux à base polymères. Notre étude s'intéresse donc au recyclage iso fonction d'un composite à base polypropylène majoritairement présent dans les véhicules. Les matériaux issus des véhicules en fin de vie sont pollués. Dans cette étude nous allons donc étudier des composites contaminés et recyclés afin de mieux comprendre les mécanismes

mis en jeu lors du retraitement des déchets plastiques en vue de leur réutilisation comme pièce de structures. Dans un premier temps nous étudierons donc les effets de la pollution, puis ensuite du recyclage. En effet, la dégradation due aux contaminants agit comme des impuretés sur les composites à base de polymères. Il est donc important d'abord d'examiner les effets des contaminants sur les propriétés du matériau avant de travailler sur le recyclage. Le choix des contaminants s'est porté sur l'huile moteur (appelé EO) et l'éthylène glycol (EG appelé) utilisé par exemple dans la composition du liquide de frein. Ils ont été choisis parce que leur présence a été déterminée dans les pièces de véhicules à la fin de la durée de vie des véhicules [1]. Les effets des contaminants sur ces deux composites à base de polymère n'ont pas été étudiés en profondeur. En effet, peu de travaux présentant la dégradation due à cette pollution sont présents [2]. Certaines études ont indiqué que l'huile ou l'éthylène glycol est introduite dans des mélanges de polymères et composites comme comptabilisant [3-4]. Dans ce cas, certaines améliorations sont attendues sur les propriétés mécaniques des matériaux pollués. Par exemple, Kallel et al. [2], Alexander et al. [5], et Othman et al. [3] ont montré que le pétrole et l'huile en acides gras utilisés comme comptabilisant améliore le mélange des composites ou des mélanges de polymères conduisant à une augmentation de la résistance à la traction tandis que le module de Young diminue. Dans le polymère rigide chargés de particules, la phase polymère seule contribue à l'élasticité du composite. Concernant la présence de l'éthylène glycol dans un polymère ou un mélange composite, peu d'études ont été réalisées: par exemple, Kallel et al. [2] ont signalé qu'une petite molécule polaire telle que l'éthylène glycol peut former une troisième phase ce qui nous conduit à comprendre que, par exemple, il n'y a pas de miscibilité avec les autres phases dans le polymère HDPE / PS. Cette phase peut donc jouer le rôle d'une troisième phase, ou peut devenir une interphase qui réduirait l'adhérence entre les différentes composantes.

Dans la littérature, on peut trouver plusieurs travaux traitant du retraitement des thermoplastiques. Certains d'entre eux concernent le recyclage du polypropylène seul. Ils signalent que cinq cycles de recyclage sont nécessaires avant d'observer une dégradation non-négligeable des propriétés mécaniques [6-7-8]. Ils montrent également que la limite d'élasticité et le module d'Young augmente jusqu'au cinquième cycle de retraitement avant d'atteindre un maximum. Ils attribuent cette amélioration des propriétés au taux de cristallisation, qui augmente également avec le recyclage. Mais les principaux résultats montrent que le retraitement du polypropylène conduit à une dégradation [6-7-8]. La caractérisation de la masse molaire ainsi que des propriétés rhéologiques et mécaniques des polymères recyclés a donné une bonne indication sur le nombre maximal de retraitement possible à réaliser tout en conservant un bon niveau de qualité, requis pour une application spécifique [9]. La bibliographie démontre néanmoins que la contrainte à rupture, et l'énergie de rupture ont été considérablement réduits par le processus de recyclage. En accord avec Guerrica et al [8], et Aurrekoetxea et al [7], l'absence de changements dans la structure chimique et l'augmentation de l'indice de fluidité de la phase PP suggèrent que la scission de chaînes est le principal mécanisme de dégradation de ce type de recyclage. Comme il est classiquement observé, la rupture du PP a lieu dans la zone d'érouissage de la courbe de traction. Avec les coupures de chaînes occasionnées par des niveaux élevés de cisaillement lors du passage successif dans l'extrudeuse, la ductilité du PP est alors réduite.

Les effets du recyclage sur les matériaux en polypropylène choc ont été partiellement étudiés [6-7-8]. Certaines dégradations induites par le vieillissement et le recyclage des composites à base de polypropylène ont été quantifiées sous chargement quasi statique par Luda et al [1-10]. De plus, les effets sur la dégradation des caractéristiques rhéologiques et les propriétés mécaniques des mélanges multi-extrudés de PP choc à base de poly (éthylène-co-acétate de vinyle) ont également été étudiés [9]. Luda et al. [1-10], Da Costa et al. [11], Helson et al. [12] ont montré que les caractéristiques rhéologiques et les propriétés physiques sont dégradées après le recyclage. Ils ont observé une augmentation de l'indice de fluidité à chaud (MFI) et du degré de cristallinité (χ_c), avec une réduction continue de la masse molaire, et de la température de fusion (T_m) lorsque le nombre d'extrusion augmente. Au cours de multiples extrusion / procédés de broyage, la chaîne polymère subit de nombreuses scissions qui provoquent la dégradation des propriétés mécaniques [1-10]. Mais, les effets observés sur le recyclage du polypropylène pur sont probablement différents de ceux observés sur le polypropylène choc ou chargé talc en raison de la présence des particules de caoutchouc et de talc. C'est la raison pour laquelle, cette étude porte sur les effets du recyclage et de contamination des composites à base polypropylène. Dans un premier temps, une étude rhéologique est menée afin de mettre en évidence les modifications engendrée par le process de recyclage mécanique et par la contamination à l'huile moteur et à l'éthylène glycol. Les résultats de cette première campagne d'essais permettront d'expliquer et d'interpréter les modifications des propriétés d'usage obtenues lors de la campagne expérimentale mécanique.

2. Etude expérimentale

2.1 Matériaux

Deux types de matériaux sont étudiés. Un matériau à base de polypropylène choc (référéncé chez SABIC®PP sous la dénomination de grade 108MF97) et un composite particulière chargé de talc à base de polypropylène choc (référéncé chez SABIC® sous la dénomination de PP compound, grade 7510®). Le

premier matériau est un composite à trois phases référencé sous la dénomination de 7510® que l'on retrouve lors de la fabrication des pare-chocs arrière. Il se compose de 20% de nodules d'élastomère EPDM (éthylène-propylène-diène monomère) de diamètre inférieur à $1\ \mu\text{m}$, de 12% de feuillets de talc de longueur moyenne de $8\ \mu\text{m}$, le tout noyé dans une matrice polypropylène (PP). Pour les pare-chocs avant, le matériau référencé sous la dénomination de 108MF97®, est un copolymère choc PP/EPR (éthylène-propylène-rubber). La phase élastomère est dans ce cas composée de 22% de nodules de diamètre inférieur à $1\ \mu\text{m}$ (?). Des plaques de matériaux modèles dont nous contrôlons le contenu ont été fabriquées. Les plaques de matériaux vierges ont été injectées. Les matériaux recyclés ont été obtenus à partir de ces matériaux modèles après leur avoir fait subir six cycles successifs d'extrusion/broyage recyclage thermomécanique). Le choix du nombre de recyclage est fondé sur de précédentes études portant sur les effets du recyclage sur du polypropylène et qui font état d'un effet maximum du recyclage à partir de 5 cycles [23, 24]. Deux types de contaminants - Ethylène Glycol PROLABO code 24 407 292 et d'une huile moteur synthétique TOTAL ACTIVA 7000 10-40 Essence - ont été ajoutés lors du procédé d'extrusion pour simuler la pollution qui peut se produire durant le cours normal du cycle de vie des matériaux testés [6]. Les échantillons pollués contenant soit 2% de l'éthylène glycol (l'échantillon est alors appelé 1P2EG), 2% d'huile de moteur (l'échantillon est alors appelé 1P2EO) ou 2% de chacun (l'échantillon est alors appelé 1P2EOEG). N représente le nombre de recyclage subit par l'échantillon vierge. Toutes ces données sont résumées dans le Tableau 1.

Designation	Ethylene Glycol (Weight %)	Engine Oil (Weight %)
NP2EO	-	2
NP2EG	2	-
NP2EOEG	2	2

Tab1. Pollution composition

2.2 Essais

Les poids moléculaires et la caractérisation rhéologique ont été déterminés comme suit : les granulés de matériaux vierge et pollués ont été dissous à $135\ ^\circ\text{C}$ pendant cinq heures en 1010 IRGANOX stabilisé tri chlorobenzène. Ces résultats ne concernent que les granulés avant moulage par injection. La référence de l'appareil pour la détermination de la répartition de la masse molaire est le dispositif de Waters Alliance 2000. Le polypropylène chargé talc et élastomère n'a pas été analysé en raison de la présence de talc. Les propriétés rhéologiques ont été mesurées au moyen d'un rhéomètre capillaire Rheoflizer Haake. La longueur et le diamètre du capillaire étaient de 30 et 1 mm ($L/D = 30$). Les valeurs de viscosité sont ensuite corrigées en utilisant seulement la procédure Rabinowitch. Les mesures ont été effectuées à $230\ ^\circ\text{C}$ dans une gamme de taux de cisaillement variant de 50, 200, 500, 1000 et 3000 s^{-1} .

Les essais de traction uni axiaux en quasi statiques ont été réalisés à température ambiante, à différentes vitesses de déformation, sur une machine hydraulique INSTRON série 8500. Un extensomètre INSTRON de référence 2360-102 de longueur initiale entre couteaux de 10 mm a été utilisé pour mesurer l'allongement des échantillons en cours d'essai. Toutefois, en faisant l'hypothèse que la déformation se fait à volume constant en en restant en petites déformations, nous supposons que les vitesses de déformations imposées sont 10^{-4} , 10^{-3} et $10^{-2}\ \text{s}^{-1}$. De plus, les essais ont été interrompus avant 20% car dans ce domaine, les contraintes et déformations nominales sont représentatives des contraintes et déformations vraies dans l'échantillon. Trois paramètres ont été évalués avec ces essais : le module élastique (E), la contrainte seuil (σ_y) et la déformation seuil (ϵ_y). Sur aucun de nos échantillons, il n'a été observé de phénomène de striction.

Les essais en compression dynamiques ont été réalisés sur une barre d'Hopkinson développée à l'Institut de Mécanique des Fluides et des Solides à Strasbourg. Ces essais ont été menés à température ambiante. L'épaisseur des échantillons est de 3 mm et le diamètre est de 16 mm en accord avec les prérogatives décrites dans [16]. Avant chaque essai, une très fine couche de lubrifiant a été déposée sur chaque éprouvette afin de minimiser les effets du frottement. Le système de barres d'Hopkinson utilisé est composé de deux barres, une barre incidente et une barre réfléchie, en inox de 3 m de long et de 22 mm de diamètre. L'échantillon est positionné entre les deux barres incidentes et réfléchies. Un projectile de 22 mm de diamètre et de 1.25m de longueur a été utilisé pour générer les ondes incidentes. Le principe est le suivant : quand le spécimen est soumis au choc, une partie de l'onde incidente se trouve transmise dans l'autre barre et l'autre partie se trouve réfléchie dans la barre incidente. Les ondes incidentes, transmises et réfléchies sont mesurées à l'aide de jauges collées sur les deux barres. Ces signaux sont ensuite utilisés pour calculer la contrainte et la déformation nominale dans l'échantillon déformé de façon homogène.

2.3 Résultats

La figure 1 représente la distribution de masse molaire de chaque échantillon. Les résultats pour les deux matériaux étant similaires, seuls les résultats obtenus pour le matériau 108MF97, sans talc sont présentés. En effet, sur ce matériau les effets sont plus marqués. La masse moléculaire moyenne correspondante M_n (g/mol), la masse molaire M_w (g/mol) et l'indice de polydispersité (IP) sont répertoriés dans le tableau 2. IP est défini comme suit :

$$IP = \frac{M_w}{M_n} \quad (\text{eq. 1})$$

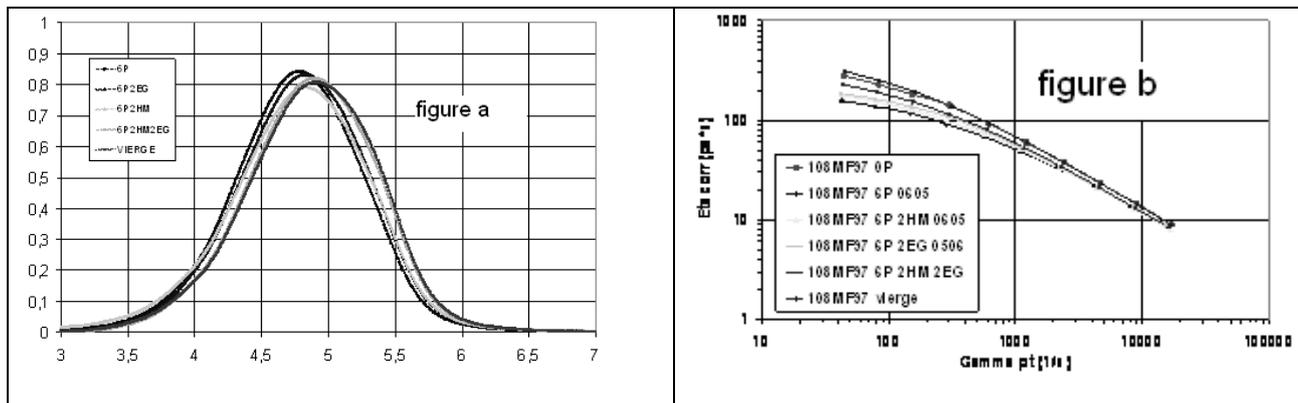


Fig. 1. Les échantillons.

108MF97	M_n	M_w	IP
V (matériau vierge)	36300	150100	4.1
6P	29000	116000	4
6P2HM	23300	129000	5.5
6P2EG	33100	129000	3.9
6P2EG2HM	37700	151000	4

Tab. 2. Masses moléculaires et molaires et indice de poly moléularité pour les matériaux vierges, pollués et recyclés pour le 108MF97

Comme on peut l'observer sur la figure 1a et dans le tableau 2, l'indice IP reste pratiquement constant, les valeurs n'étant précises qu'à 15%. Ni l'extrusion ni la présence de contaminants ne semblent donc affecter de manière significative la distribution de masse molaire. La masse molaire moyenne en poids diminue légèrement lorsque l'huile moteur ou de l'éthylène glycol est présent, mais étonnamment, cette masse molaire moyenne est récupérée lors de l'ajout des deux contaminants.

La figure 1b représente les variations de la viscosité en fonction du taux de cisaillement pour les matériaux vierges, pollués et recyclés. Dans la plage des taux de cisaillement testés, il n'a pas été observé de différences significatives entre les courbes. Ces résultats sont cohérents avec les conclusions tirées de la chromatographie d'exclusion stérique (SEC). Comme la tendance sur le matériau 7510 chargé de talc est à peu près la même, on peut conclure que la matrice du matériau chargé talc n'est pas affectée par la présence de contaminants.

Les figures 2a et 3a représentent le comportement macroscopique obtenus lors des essais de traction uni axiale quasi statique. De façon générale, les matériaux présentent la réponse mécanique d'un polymère thermoplastique soumis à un chargement quasi statique. Après une réponse élastique linéaire, une petite zone de viscoélasticité apparaît avant d'atteindre la contrainte seuil. Après ce point, le matériau se déforme plastiquement. La viscoplasticité de ce matériau peut être décomposée en deux phases : un premier domaine d'adoucissement initial plus ou moins prononcé suivi par un écrouissage. D'un autre côté, la zone utile de tous nos échantillons présente un blanchiment qui intervient très tôt dans l'histoire du chargement. Ce blanchiment correspond au phénomène de cavitation qui se déclenche dans les composites chargés de particules d'élastomères [13] et à une compétition forte entre cavitation et décohésion matrice/talc pour le matériau chargé talc [14]. Une différence entre les courbes s'observe au niveau de la contrainte seuil. Le « coude » est plus accentué pour les matériaux chargés de talc. En effet, la littérature à ce sujet montre que les particules de talc ont tendance à augmenter le coude. Mais les différentes phases de nos matériaux n'étant pas identiques, nous ne concluons pas sur cet effet autrement qu'en le comparant aux données de la littérature [15]. La présence des polluants limitent les dégradations et les deux matériaux semblent avoir récupérés les propriétés mécaniques des matériaux vierges.

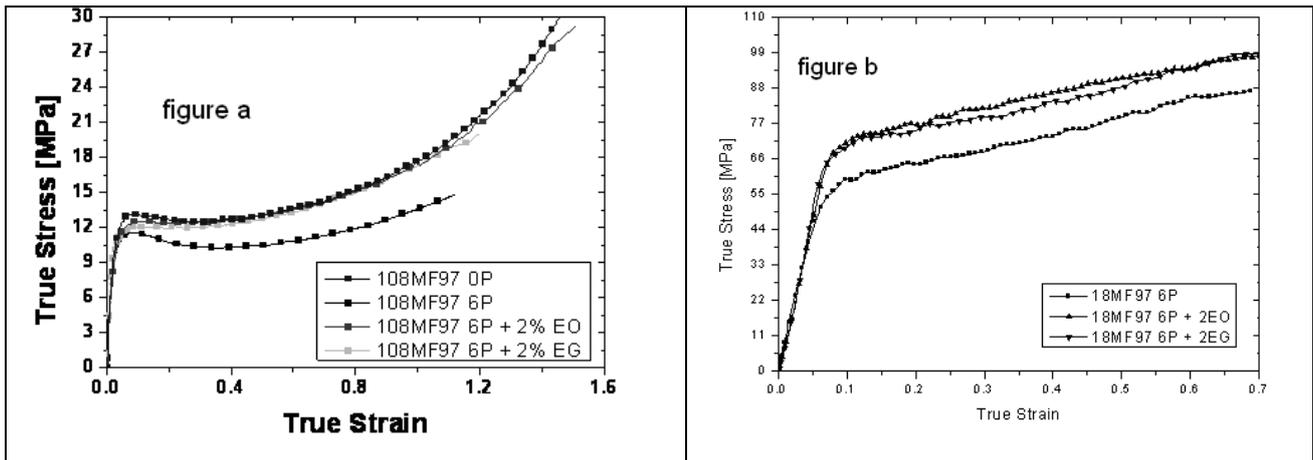


Fig. 3. Courbes contraintes déformations pour le 108MF97:effets du recyclage et de la contamination
(a) En traction quasi statique à 10^{-3} s^{-1} et (b) en compression dynamique à 10^2 s^{-1}

Pour les essais réalisés sur la barre d'Hopkinson, le comportement dynamique obtenu pour les deux matériaux en compression ne montre pas de seuil. Le comportement est de type élastoplastique linéaire. En compression le mode de dégradation n'est pas le même, cet essai refermant les cavités. Il est aussi observé que la présence des polluants limite les dégradations dues au recyclage thermomécanique comme il a été observé lors des autres essais.

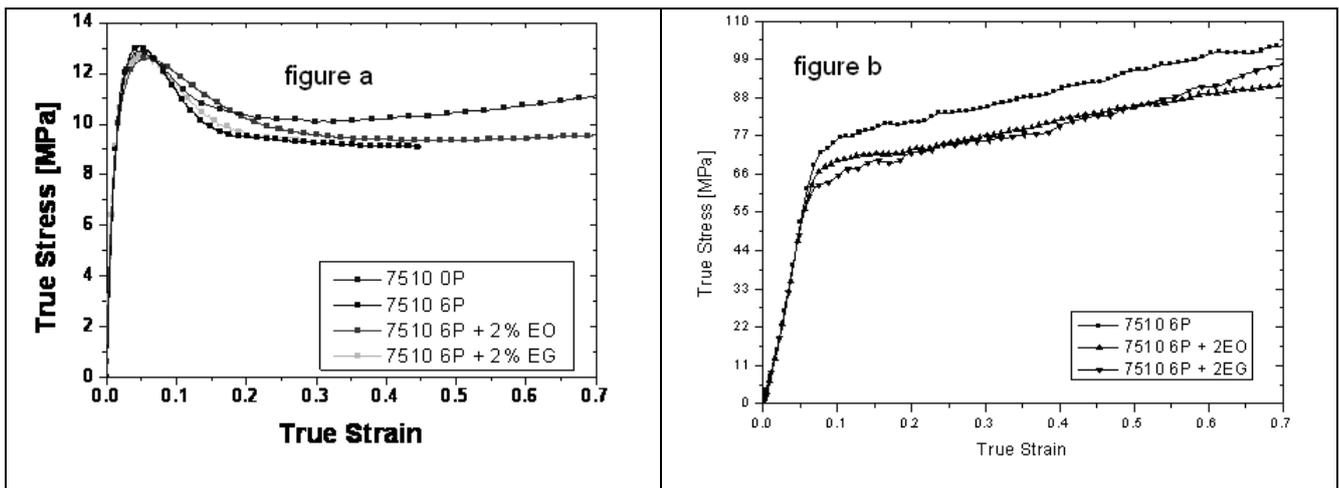


Fig. 4. Courbes contraintes déformations pour le 7510:effets du recyclage et de la contamination
(a) En traction quasi statique à 10^{-3} s^{-1} et (b) en compression dynamique à 10^2 s^{-1}

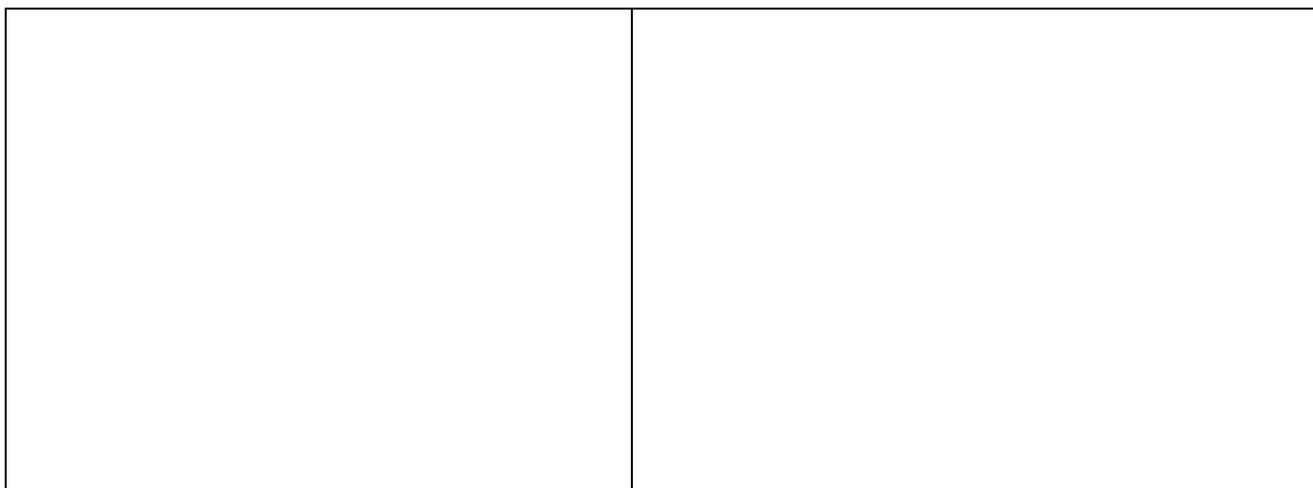


Fig. 4. Courbes contraintes déformations pour le 7510:effets du recyclage et de la contamination
(a) En traction quasi statique à 10^{-3}s^{-1} et(b) en compression dynamique à 10^2s^{-1}

3. Discussion

Les dégradations obtenues lors du process de recyclage mécanique sont principalement dues au process d'extrusion. En effet, les résultats de l'étude rhéologique montrent que les chaînes les plus longues ont été coupées (masses molaires qui diminue et pic qui augmente) dégradant de ce fait la phase matrice PP. On rappelle aussi que l'IP montre que la probabilité de coupure des chaînes est plus importante en présence de chaînes longues. On observe aussi une diminution de la déformation à rupture caractéristique des coupures de chaînes. La phase cristalline semble moins affectée car les propriétés initiales sont faiblement modifiées (module d'Young et contrainte seuil).

En ce qui concerne la présence des contaminants, différentes conclusions peuvent être proposées. L'huile est reconnue comme ayant un rôle de comptabilisant qui améliore le mélange des composites et des composés polymères [2-4]. En effet, les molécules d'huile pénètrent à l'intérieur de la phase matrice et dans les particules d'élastomères car leur paramètre de miscibilité est proche de celui de la phase matrice et de la phase élastomère. De plus, OTHMAN et al [3].. ont montré le rôle stabilisant de l'huile lors de dégradations thermiques et la limitation de la réaction de coupure de chaîne du polymère dégradé en présence d'huile. Il a aussi été montré que le frottement et le glissement entre chaînes de polymères et entre les polymères et les outils lors de l'extrusion étaient limités en présence d'huile entraînant ainsi une baisse des contraintes de cisaillement limitant donc la dégradation des chaînes.

Par contre, l'éthylène glycol est plutôt reconnu comme fragilisant le comportement mécanique des matériaux dans lequel il est intégré (diminution de la masse molaire, ref papier pollution). De plus, il est aussi important de considérer la volatilité de ce contaminant. En effet, lors de l'extrusion et de l'injection, ce polluant a tendance à s'évaporer partiellement. Mais on peut aisément supposer qu'avant son évaporation, ce polluant a partiellement affecté les propriétés mécaniques des matériaux comme la masse molaire ou le comportement mécanique observé. Mais le principal résultat de cette étude est que la présence des polluants permet de limiter la dégradation due au recyclage. En effet, quel que soit le test, les matériaux pollués recyclés possèdent pratiquement les mêmes propriétés rhéologiques et mécaniques que les matériaux vierges.

4. Conclusion

En résumé, le comportement mécanique de composites vierges à base de polypropylène a été comparé à celui d'un composite pollué et recyclé. La confrontation de tous les résultats expérimentaux nous ont amené à conclure que l'huile agit comme un plastifiant alors que l'éthylène glycol fragilise le comportement des matériaux testés. Le recyclage thermomécanique conduit à une détérioration de la ductilité en raison de la diminution de la masse molaire. Mais la présence des polluants permet de limiter et même de protéger les matériaux lors du recyclage. Ceci ouvre de très bonnes perspectives quant à la réutilisation des matériaux recyclés et permettra peut être le recyclage iso fonction des pièces de semi structures des voitures comme les pare chocs.

Remerciements

Les auteurs remercient vivement le "Ministère de la Recherche et de l'Innovation" ainsi que le Ministère de l'Enseignement Supérieur pour le financement de cette étude. Les auteurs remercient chaleureusement aussi Claude Raveyre et Roger Schmitt pour le précieux temps passer à préparer les échantillons ainsi que toute l'équipe de RECYPRO A et B pour les riches discussions au cours des 3 années de ce projet.

Références (mettre toutes les références sous le même format et suite de numéros)

- [1] D. Dupont, S. Super, « Nouveaux concepts pour la rédaction de résumés ». *Int. J. of Ideas and Concepts*, Vol. 13, pp.15-32, 1998.
- [2] H. Homme, F. Femme, « Les figures dans le résumé ». *In : Comptes-rendus des 15^e Journées Nationales sur les Composites (JNC15)*, Publiés par C. Hochard & J. Lamon, pp. 2007-2015, Marseille, 6-8 Juin 2007. ISBN 978-2-87717-090-1.
- [3] B. Bien, « Les tableaux des résumés ». 16^e édition revue et corrigée. Les presses nationales, Toulouse, Marseille, Compiègne, 2007. ISBN 125-2-22533-458-9.

- [1] M. P Luda, G Ragosta, P Musto, A. Pollicino, G. Caminom A.Recca et V Nepote, « *Natural ageing of automotive polymer components: characterisation of new and used poly(propylene) based car bumpers* », *Macromolecular Materials Engineering*, Vol. 287, pp.404-411, 2002.
- [2] T. Kallel, Valérie Massardier-Nageotte, Mohamed Jaziri, Jean-François Gérard, Boubaker elleuch *Effect of model pollutants on the recycling of PE/PS Plastic blends*, *Progress in Rubber, Plastics and Recycling technology*, Vol. 19, n°2, 2003
- [3] Othman N., Ismail H. Mariatti M., *Effect of compatibilisers on mechanical and thermal properties of bentonite filled polypropylene composites*, *Polymer Degradation and stability*, 91 (2006) 1761-1774.
- [4] D. Pessey, N. Bahlouli, C. Raveyre, J. Guillet, J.M HiverA. Dahoun S. Ahzi, "Characterization of the contamination on two composites based polypropylene" *under press Polymer Sci. Eng.*
- [5] Alexander M., Thachil E. T., *A comparative study of cardanol and aromatic oil as plasticizers for carbon-black-filled natural rubber*, *J of Applied Polymer Science*, Vol. 102, 4835-4841, 2006
- [6] L. D'orazio, R. Greco, E. Martuscelli, G. Ragosta, *Polym. Eng. Sci.*, Vol. 36, pp-2607-2613, 2001.
- [7] Aurrekoetxea, J., Sarrionanda, M.A., Urrutibeascoa, I., Maspoch, M. LI., "Effects of recycling on the microstructure and the mechanical properties of isotactic polypropylene", *Journal of materials science* Vol.36, pp. 2607-2613, 2001
- [8] G Guerrica-Echevarria, J I Eguiazabal, J Nazabal, 'Effects of reprocessing conditions on the properties of unfilled and talc-filled polypropylene', *Polymer degradation and stability*, Vol.53, pp.1-8, 1996
- [9] F. Ramasteiner, F. Acta Polym, Vol. 42, pp-584, 1991.
- [10] Luda, M. P., Ragosta, G., Musto, P, Acierno, D, Di Maio, L., Camino G., Nepote V.: « *Regenerative recycling of automotive polymer components: poly (propylene) based car bumpers*», *Macromolecular Materials Engineering*, Vol.288, pp.613-411, 2003
- [11] H.M. Da Costa, V.D. Ramos, M.C.G. Rocha, *Rheological properties of polypropylene during multiple extrusion*, *Polym. Test.*, Vol.24, pp 86-93, 2005.
- [12] H.M Da Costa, V.D. Ramos AND M. G. De Oliveira, *Degradation of polypropylene during multiple extrusions: thermal analysis, mechanical properties and analysis of variance*, *Polym. Test.*, Vol. 26, pp. 676-684, 2007.
- [13] C G'Sell, J M Hiver and A Dahoun, 'Experimental characterization of deformation damage in solid polymers under tension, and its interrelation with necking', *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 39, Issues 13-14, pp.3857-3872, 2002
- [14] C Fond, C G'Sell, 'Localisation des déformations et mécanismes d'endommagement dans les polymères multiphasés', *Mécanique et Industries*, Vol.3, pp.431-438, 2002
- [15] S Maiti, N K K Sharma 'Studies on polypropylene composites filled with talc particles. Part I: Mechanical properties', *Journal of Materials Science*, Vol.27, pp.4605-4613, 1992.
- [16] J Z Malinowski and J R Klepaczko, 'Dynamic frictional effects as measured from the split Hopkinson bar'. *International Journal of Mechanical Science*, Vol. 28, pp.381-391, 1986.