

DIRECTION ENVIRONNEMENT

ÉVALUATION DE L'IMPACT DES SACS BIODÉGRADABLES SUR LE RECYCLAGE DES SACS EN PLASTIQUE TRADITIONNELS

Dossier CRIQ n° 640-PE35461-R2

Rapport technique final

RECYC-QUÉBEC

7171, rue Jean-Talon Est, bureau 200
Anjou (Québec) H1M 3N2

MARC BRUNET
CONSEILLER INDUSTRIEL

DANIEL GRENIER, CHIM. PH.D.
RESPONSABLE TECHNIQUE
DIRECTION ENVIRONNEMENT

LAURENT CÔTÉ, ING. ET AGR.
DIRECTEUR
DIRECTION ENVIRONNEMENT

QUÉBEC, LE 25 OCTOBRE 2007

TABLE DES MATIÈRES

	PAGE
1. MISE EN CONTEXTE	1
2. OBJECTIF DU PROJET PROPOSÉ	1
3. DESCRIPTION DES SACS ÉVALUÉS DANS CETTE ÉTUDE	2
4. PRÉPARATION DES MÉLANGES DES SACS TRADITIONNELS ET BIODÉGRADABLES.....	3
5. PRODUCTION DE PROFILÉS ET DE PELLICULES	7
5.1 EXTRUSION DE PROFILÉS PROTOTYPES	8
5.2 EXTRUSION-SOUFFLAGE DE PELLICULES PROTOTYPES	10
6. DESCRIPTION DES ESSAIS DE PERFORMANCE ET DU VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ.....	13
6.1 ESSAIS DE PERFORMANCE POUR LES PROFILÉS.....	13
6.2 ESSAIS DE PERFORMANCE POUR LES PELLICULES.....	14
6.3 VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ.....	14
7. CARACTÉRISATION INITIALE DES PROFILÉS ET DES PELLICULES.....	15
7.1 CARACTÉRISATION INITIALE DES PROFILÉS.....	15
7.2 CARACTÉRISATION INITIALE DES PELLICULES.....	17
8. CARACTÉRISATION DES PROFILÉS ET DES PELLICULES APRÈS LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ.....	21
8.1 CARACTÉRISATION DES PROFILÉS APRÈS LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ	21
8.2 CARACTÉRISATION DES PELLICULES APRÈS LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ	26
9. ÉTANCHÉITÉ DES SACS D'EAU.....	37
10. OBSERVATIONS	40
11. CONCLUSION	43
 ANNEXE A : COMPORTEMENT THERMIQUE PAR « DSC » (Differential Scanning Calorimeter) DES SACS DE PLASTIQUE	

TABLE DES MATIÈRES (suite)

PAGE

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU I	PROPRIÉTÉS THERMIQUES DES SACS DE PLASTIQUE	7
TABLEAU II	PERFORMANCES INITIALES DES PROFILÉS	16
TABLEAU III	PERFORMANCES INITIALES DES PELLICULES	18
TABLEAU IV	PERFORMANCES COMPARÉES DES RÉSULTATS DE TENSION MAXIMALE EN FLEXION (psi) DES PROFILÉS APRÈS LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ.....	22
TABLEAU V	PERFORMANCES COMPARÉES DES RÉSULTATS DE DÉFLECTION MAXIMALE EN FLEXION (%) DES PROFILÉS APRÈS LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ.....	23
TABLEAU VI	PERFORMANCES COMPARÉES DES RÉSULTATS DU MODULE ÉLASTIQUE EN FLEXION (psi) DES PROFILÉS APRÈS LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ.....	24
TABLEAU VII	PERFORMANCES COMPARÉES DES RÉSULTATS DE RÉSISTANCE À L'IMPACT « IZOD » (J/m) DES PROFILÉS APRÈS LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ.....	25
TABLEAU VIII	PERFORMANCES COMPARÉES DES RÉSULTATS DE TENSION AU POINT DE STRICTION (psi) DES PELLICULES APRÈS LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ.....	28
TABLEAU IX	PERFORMANCES COMPARÉES DES RÉSULTATS D'ÉLONGATION AU POINT DE STRICTION (%) DES PELLICULES APRÈS LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ.....	29
TABLEAU X	PERFORMANCES COMPARÉES DES RÉSULTATS DE TENSION MAXIMALE (psi) DES PELLICULES APRÈS LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ.....	30
TABLEAU XI	PERFORMANCES COMPARÉES DES RÉSULTATS D'ÉLONGATION À LA RUPTURE (%) DES PELLICULES APRÈS LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ.....	31

TABLE DES MATIÈRES (suite)

PAGE

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU XII	PERFORMANCES COMPARÉES DES RÉSULTATS D'ÉNERGIE DE RUPTURE (J/cm^3) DES PELLICULES APRÈS LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ.....	32
TABLEAU XIII	PERFORMANCES COMPARÉES DES RÉSULTATS DE RÉSISTANCE À LA DÉCHIRURE (lb/po) DES PELLICULES APRÈS LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ	33
TABLEAU XIV	PERFORMANCES COMPARÉES DES RÉSULTATS DE FLEXIBILITÉ (psi) DES PELLICULES APRÈS LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ.....	34
TABLEAU XV	DURÉE DE VIE DE SACS REMPLIS D'EAU	39
TABLEAU XVI	SYNTHÈSE DES OBSERVATIONS ET DES CONCLUSIONS.....	46

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Composantes principales du mélangeur thermocinétique	5
Figure 2	Système de production des profilés par extrusion	9
Figure 3	Système de production des pellicules par extrusion-soufflage	11
Figure 4	Pellicule contenant 50 % de sacs « NéoSac » après quatre jours d'exposition aux rayons UV dans une atmosphère chaude et humide	35
Figure 5	Pellicules contenant 25 % et 50 % de sacs « NéoSac » après sept jours d'exposition aux rayons UV dans une atmosphère chaude et humide	36
Figure 6	Montage utilisé pour suspendre les sacs remplis d'eau	38

RÉSUMÉ

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'impact potentiel des divers sacs biodégradables qui sont actuellement disponibles sur le marché québécois, sur le recyclage des sacs en plastique traditionnels et la qualité du plastique recyclé. En effet, il serait possible de retrouver au recyclage une certaine quantité de ces sacs biodégradables mélangés avec des sacs traditionnels (non biodégradables). L'impact sur la qualité du plastique recyclé n'était pas encore bien connu.

Plus particulièrement, l'étude a évalué la capacité de mélanger des sacs biodégradables et des sacs traditionnels dans une unité de production par extrusion pour la fabrication de profilés et de pellicules. Les performances de ces produits ont été évaluées après un vieillissement accéléré aux rayons UV dans une atmosphère chaude et humide.

Pour bien contrôler l'historique des matériaux, des sacs commerciaux vierges provenant de fournisseurs locaux ont été utilisés. Les sacs traditionnels étaient fabriqués en polyéthylène haute densité et provenaient de la compagnie Hilex. En ce qui concerne les sacs biodégradables, deux types de sacs oxo-biodégradables et deux types de sacs hydro-biodégradables ont été évalués dans cette étude. Les sacs oxo-biodégradables étaient le « NéoSac » de l'Association NéoSac et le sac fabriqué par Omniplast à partir de l'additif de l'entreprise EPI. Les sacs hydro-biodégradables étaient le « BioBag® » fabriqué par l'entreprise manufacturière Polar Gruppen et l'« Eco-Film » fabriqué par l'entreprise de Cortec Corporation.

Le protocole expérimental suivant a été utilisé afin d'évaluer l'influence des sacs biodégradables lorsqu'ils sont mélangés avec les sacs traditionnels :

- Les quatre types de sacs biodégradables ont été mélangés avec les sacs traditionnels dans des proportions de 5, 10, 25 et 50 % à l'aide d'un mélangeur à haut taux de cisaillement maintenu dans une atmosphère inerte. Les plaques obtenus à partir des 16 mélanges ont par la suite été granulées.
- Des profilés de 0,25 pouce par 0,50 pouce ont été produits par extrusion, alors que des pellicules dont l'épaisseur était comprise entre 0,003 et 0,005 pouce ont été fabriquées par extrusion-soufflage à partir des granules des 16 mélanges et des granules provenant des sacs traditionnels.
- Des mesures de flexion et de résistance à l'impact ont été effectuées sur les profilés extrudés, alors que des mesures de traction, de flexibilité et de résistance à la déchirure ont été réalisées sur les pellicules.

- Finalement, les mêmes essais ont été repris sur les profilés et les pellicules après un vieillissement agressif impliquant de la chaleur, de l'humidité et des rayons UV.

À la suite des différents essais, les constatations suivantes ont été observées :

Préparation des mélanges et extrusion des profilés et des pellicules :

- A. Les sacs traditionnels et les sacs oxo-biodégradables ont des natures chimiques similaires et des comportements thermique et rhéologique comparables. Une compatibilité a ainsi été observée en ce qui a trait à la préparation des mélanges et à l'extrusion.
La préparation des différents mélanges entre les sacs traditionnels et les sacs biodégradables a révélé de sérieux problèmes de compatibilité entre les sacs hydro-biodégradables et les sacs traditionnels. En effet, pour des mélanges dont la concentration en sacs hydro-biodégradables est supérieure à 25 %, il a été nécessaire de modifier le protocole expérimental du mélange et de réajuster les deux extrudeuses lors de la production des profilés et des pellicules. Des différences de nature chimique (polyéthylène par rapport à l'amidon de maïs), de comportement thermique et de rhéologie (fluidité) sont probablement à l'origine de cette incompatibilité entre les sacs traditionnels et les sacs hydro-biodégradables.
- B. Par conséquent, les sacs oxo-biodégradables sont plus compatibles que les sacs hydro-biodégradables lorsqu'ils sont mélangés avec les sacs de plastique traditionnels.

Performances mécaniques initiales des profilés et des pellicules :

- A. Les profilés fabriqués à partir des mélanges entre les sacs traditionnels et les sacs oxo-biodégradables ont démontré des performances mécaniques similaires et même supérieures à celles des profilés fabriqués à partir des sacs traditionnels seuls.
- B. Les profilés fabriqués à partir des sacs hydro-biodégradables ont présenté des propriétés mécaniques sensiblement inférieures à celles des profilés fabriqués à partir des sacs traditionnels.
- C. Les mêmes observations ont été enregistrées pour les pellicules autant pour les mélanges avec les sacs oxo-biodégradables que ceux avec les sacs hydro-biodégradables. Les mélanges avec les sacs hydro-biodégradables ont présenté une chute importante des propriétés de résistance à la déchirure. Plus précisément, les sacs fabriqués à partir des pellicules contenant plus de 10 % de sacs hydro-biodégradables « BioBag® » et les pellicules contenant plus de 25 % de sacs hydro-biodégradables « Eco Film™ » n'ont pu résister à la déchirure

lorsqu'elles ont été remplies d'eau. Seules, les pellicules contenant de faibles quantités de sacs hydro-biodégradables ont pu résister au déchirement pendant une période de 100 jours.

- D. Tous les sacs fabriqués à partir des pellicules contenant des sacs oxo-biodégradables (5, 10, 25 et 50 %) ont résisté pendant plus de 100 jours au remplissage d'eau sans présenter de fuite.

Performances mécaniques des profilés et des pellicules après le vieillissement accéléré :

- A. Le vieillissement accéléré des profilés pendant une période maximale de 28 jours n'a pas causé de changements importants relativement aux propriétés mécaniques sur l'ensemble des échantillons produits, incluant le témoin de sacs traditionnels.
- B. Toutes les pellicules, incluant le témoin de sacs traditionnels, ont présenté une chute importante des propriétés après un vieillissement accéléré de 7 jours.
- C. Plus particulièrement, les pellicules fabriquées à partir de mélanges de sacs traditionnels et de sacs oxo-biodégradables ont démontré une baisse importante des propriétés.
- D. Les mélanges de sacs traditionnels et de sacs oxo-biodégradables « NéoSac » semblent particulièrement affectés par le vieillissement accéléré puisque les pellicules ont été à toutes fins pratiques complètement détruites après 4 jours d'exposition. La chute de performance des mélanges contenant les sacs oxo-biodégradables « EPI » était similaire à celle enregistrée sur les sacs traditionnels seuls.
- E. Les pellicules fabriquées à partir de mélanges de sacs traditionnels et de sacs hydro-biodégradables ont également présenté une baisse significative des performances, mais celle-ci était moins importante que celle observée à partir des mélanges avec les sacs oxo-biodégradables. Il faut préciser que les performances mécaniques initiales de ces mélanges étaient inférieures à celles mesurées avec les mélanges de sacs traditionnels et de sacs oxo-biodégradables.
- F. Sommairement, les résultats ont démontré que l'exposition des pellicules aux rayons UV dans une atmosphère chaude et humide a des conséquences nettement plus marquées que celles observées pour les profilés.

À la lumière des résultats obtenus, les deux sacs hydro-biodégradables étudiés (Eco Film™ et BioBag®) ne sont pas compatibles avec la filière de recyclage des sacs de plastique traditionnels, car de nombreux problèmes ont été observés lors de la préparation des mélanges et lors de l'extrusion des profilés et des pellicules. De plus, le mélange de ces sacs avec les sacs traditionnels induit une chute importante des performances mécaniques des pellicules, principalement en ce qui a trait à la résistance à la déchirure.

Les sacs oxo-biodégradables « NéoSac et EPI » ont présenté une excellente compatibilité avec les sacs traditionnels lors de la préparation des mélanges et lors de l'extrusion des profilés et des pellicules. Toutefois, les pellicules obtenues à partir des mélanges entre les sacs « NéoSac » et les sacs traditionnels ont présenté une dégradation rapide et considérable après seulement quelques jours de vieillissement accéléré. Ces sacs ne peuvent donc pas être considérés comme étant parfaitement compatibles avec la filière de recyclage des sacs de plastique traditionnels.

Les sacs oxo-biodégradables « EPI », quant à eux, peuvent être considérés comme étant compatibles avec la filière de recyclage des sacs de plastique traditionnels, en raison des résultats obtenus lors de la préparation des mélanges et lors de l'extrusion des profilés et des pellicules de même que des performances mécaniques initiales des profilés et des pellicules et des performances mécaniques de ceux-ci à la suite du vieillissement accéléré.

1. MISE EN CONTEXTE

Depuis quelques années, des sacs en plastique identifiés comme étant « biodégradables » se retrouvent sur le marché québécois. Il existe principalement deux types de sacs classés selon leur composition, soit les sacs composés de biopolymères et les sacs en polyéthylène contenant un additif spécial.

Les sacs composés de biopolymères sont faits principalement d'amidon de maïs et sont considérés comme hydro-biodégradables. La dégradation de ces sacs résulte de l'action des microorganismes naturellement présents dans le milieu. Le deuxième type de sacs est celui des sacs oxo-biodégradables, composés de polyéthylène, un polymère produit à partir de pétrole, et d'un additif. Cet additif permet au plastique d'être atteint plus rapidement par les rayons UV, la chaleur et/ou un stress mécanique.

L'arrivée sur le marché des sacs biodégradables pourrait avoir un impact potentiel sur la récupération et le recyclage des sacs en plastique traditionnels. Il serait possible de retrouver au recyclage une certaine quantité de ces sacs biodégradables mélangés avec des sacs traditionnels (non biodégradables) et les impacts sur la qualité du plastique recyclé ne sont pas encore bien connus.

Soucieuse de cette problématique, la société d'État **RECYC-QUÉBEC** a demandé au Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ) de réaliser des essais visant à évaluer l'impact potentiel des sacs hydro-biodégradables (biopolymères à base d'amidon de maïs) et des sacs oxo-biodégradables (polyéthylène avec additifs) sur le recyclage des sacs en plastique traditionnels et la qualité du plastique recyclé.

2. OBJECTIF DU PROJET PROPOSÉ

Le projet proposé visait principalement à évaluer techniquement l'impact potentiel des sacs hydro-biodégradables et oxo-biodégradables sur le recyclage des sacs en plastique traditionnels. Plus spécifiquement, le projet consistait à évaluer les propriétés mécaniques de profilés et de pellicules fabriqués à partir de différents mélanges de sacs hydro-biodégradables, oxo-biodégradables avec des sacs en plastique traditionnels.

Dans le but d'atteindre cet objectif, les travaux ont été divisés selon les étapes suivantes :

- Description des sacs évalués dans l'étude;
- Préparation des mélanges des sacs traditionnels et des sacs biodégradables;
- Production de profilés et de pellicules par extrusion;
- Description des essais de performance et du vieillissement accéléré;
- Caractérisation initiale des profilés et des pellicules;
- Caractérisation des profilés et des pellicules à la suite du vieillissement accéléré;
- Étanchéité des sacs d'eau.

Le présent rapport technique fait d'abord état des résultats obtenus après la réalisation complète de toutes les étapes du projet. Par la suite, les principales observations et les conclusions sont présentées.

3. DESCRIPTION DES SACS ÉVALUÉS DANS CETTE ÉTUDE

Pour cette étude, un seul type de sacs en plastique traditionnels a été évalué. Ces sacs sont faits de polyéthylène haute densité (PÉHD #2) et proviennent de la compagnie Hilex.

En ce qui concerne les sacs biodégradables, deux types de sacs oxo-biodégradables et deux types de sacs hydro-biodégradables ont été évalués dans cette étude. Les sacs oxo-biodégradables sont le « NéoSac » de l'Association NéoSac et les sacs fabriqués par Omniplast à partir de l'additif de l'entreprise EPI, ci-après appelé « EPI ». Les sacs hydro-biodégradables sont le « BioBag® » fabriqués par l'entreprise manufacturière Polar Gruppen et les sacs « Eco Film™ » de Cortec Corporation.

Tous les sacs utilisés au cours de ce projet étaient à l'état neuf dans le but de bien contrôler l'historique de chaque sac.

4. PRÉPARATION DES MÉLANGES DES SACS TRADITIONNELS ET BIODÉGRADABLES

La démarche retenue pour atteindre l'objectif du projet consistait à produire des mélanges entre des sacs en plastique traditionnels contenant différentes proportions de sacs hydro-biodégradables ou de sacs oxo-biodégradables et d'évaluer les propriétés mécaniques après qu'ils aient été exposés à des conditions de vieillissement accélérées (chaleur, humidité et rayons UV), reconnues pour initier la dégradation des plastiques biodégradables.

Afin de s'assurer de l'uniformité des mélanges, les sacs ont été fondus et homogénéisés à l'aide d'un mélangeur thermocinétique. Les mélanges contenaient 5 %, 10 %, 25 % et 50 % en sacs biodégradables. Par la suite, les mélanges fondus ont été refroidis dans un moule en acier monté sur une presse hydraulique et granulés afin de pouvoir alimenter les extrudeuses. Il y avait donc 16 mélanges de granules de sacs à préparer (4 concentrations × 4 types de sacs biodégradables) et des granules de sacs traditionnels sans sacs biodégradables qui ont servi de témoin.

Le mélangeur thermocinétique (voir figure 1) utilisé pour mélanger, chauffer et homogénéiser les divers sacs est essentiellement constitué d'une chambre cylindrique (chambre de mélange) dans laquelle tourne un rotor muni de pales qui exécutent le travail nécessaire. Cette chambre cylindrique constitue évidemment le cœur du mélangeur, car c'est à cet endroit qu'ont lieu les opérations les plus critiques du procédé de production. Pour alimenter la chambre cylindrique en matières premières, le rotor du moteur est prolongé au-delà de la chambre cylindrique pour permettre l'installation d'une section de vis sans fin (vis d'alimentation). De cette façon, il est possible d'introduire les différents sacs de plastique dans la chambre de mélange par la vis sans fin d'alimentation. Grâce à la force centrifuge, les sacs de plastique sont projetés au hasard contre les parois de la chambre, contre les pales du rotor ou les uns contre les autres. Lorsque le taux de rotation du rotor central est très élevé, les différents sacs de plastique rencontrent divers obstacles plusieurs centaines de fois à la seconde. L'énergie cinétique des sacs de plastique se transforme alors en énergie thermique et toute la matière est chauffée très rapidement, généralement entre 20 et 40 secondes, jusqu'à une température critique. C'est la seule source de chaleur de ce type de mélangeur. Quand le lot à l'intérieur atteint la température présélectionnée, un dispositif prévu à cet effet déclenche automatiquement l'ouverture d'une porte de déchargement. Par l'action centrifuge du rotor, le matériau fondu est expulsé rapidement en totalité.

Dans le but d'éviter la dégradation des différents sacs de plastique lors de l'opération d'homogénéisation, la chambre de mélange était continuellement purgée avec de l'azote afin d'éliminer complètement l'oxygène. Le protocole expérimental adopté pour réaliser les mélanges consistait à introduire dans un mélangeur thermocinétique muni d'une chambre de mélange de trois litres (Gelimat S3 de Draiswerke), 600 grammes de sacs en plastique. Lors de l'introduction des sacs en plastique, la vitesse angulaire du rotor était égale à 600 tours par minute. Lorsque toute la matière était introduite, la vitesse angulaire était progressivement amenée à 2 000 tours par minute, vitesse à laquelle la température passait rapidement de la température ambiante à 210 °C, température à laquelle la porte de la chambre de mélange s'ouvrait.

À la sortie du mélangeur thermocinétique, la matière chaude et homogène était immédiatement transférée dans un moule en acier de forme cylindrique (diamètre de 10 pouces) et compressée pendant 10 minutes avec une pression de fermeture de 500 livres par pouce carré, soit 20 tonnes (presse hydraulique de 100 tonnes, modèle 100-18-2TMAC provenant de la compagnie Wabash Hydraulic Press). Cette opération avait pour but de ramener rapidement la matière à la température ambiante sans être exposée à l'oxygène de l'atmosphère.

Finalement, les disques obtenus ont été granulés afin d'obtenir une forme acceptable pour les extrudeuses utilisées lors de la production de profilés et de pellicules (Angelo Anceschi, modèle 730/GT, avec un tamis de sortie de 8 mesh).

Pour les sacs traditionnels seuls ainsi que les huit mélanges des sacs traditionnels et des sacs oxo-biodégradables (NéoSac et EPI), le protocole expérimental décrit ci-haut a été suivi à la lettre sans problème.

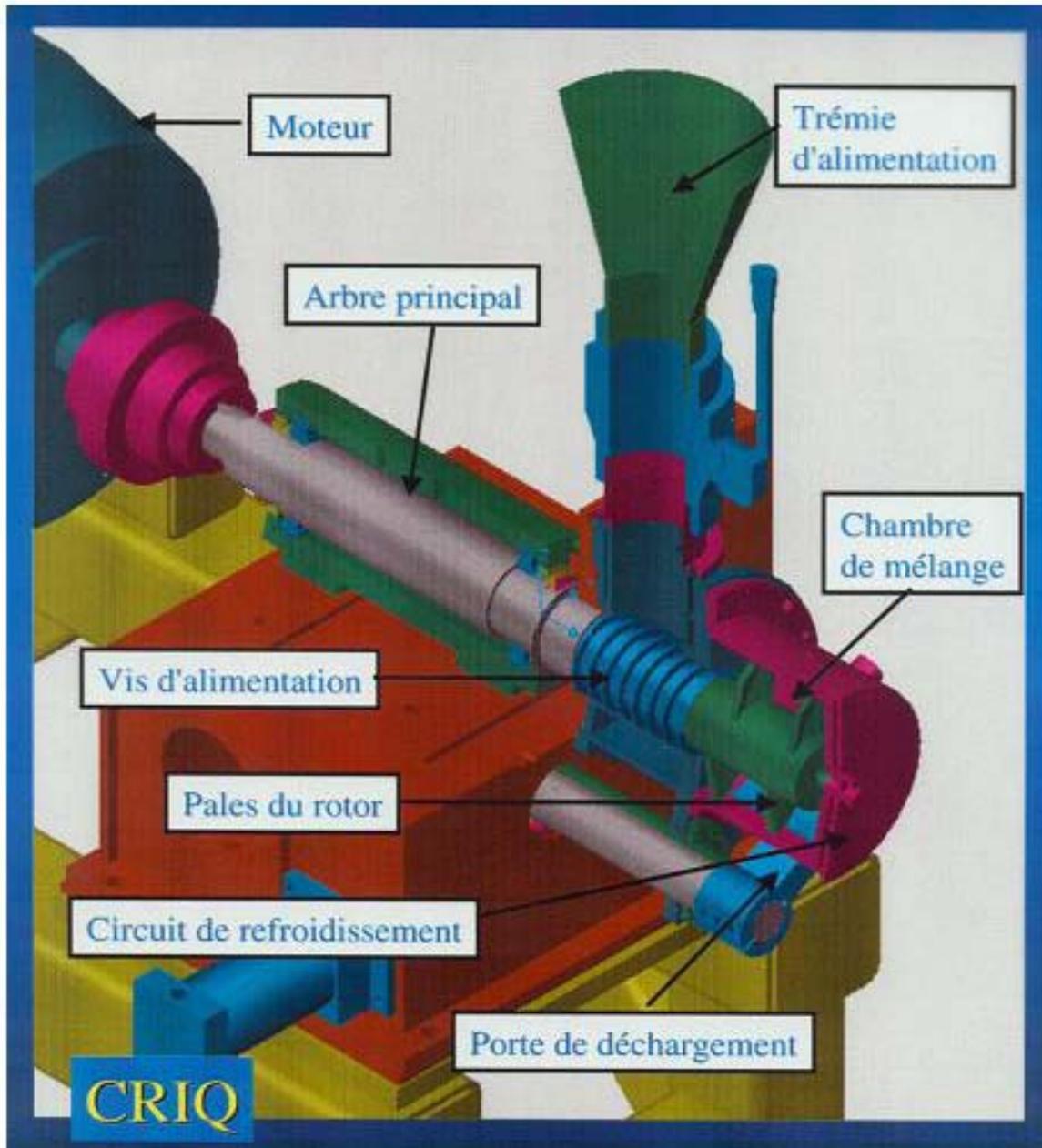


Figure 1 Composantes principales du mélangeur thermocinétique

En ce qui concerne les sacs hydro-biodégradables « Eco Film™ » et « BioBag® », les mélanges avec les sacs traditionnels ont été réalisés sans problème lorsque les concentrations en sacs hydro-biodégradables étaient faibles (5 % et 10 %). Toutefois, les mélanges plus riches en sacs hydro-biodégradables (25 % et 50 %) n'ont pu être effectués avec le mélangeur thermocinétique puisqu'il a été impossible d'obtenir des mélanges homogènes malgré les efforts déployés à modifier le protocole expérimental afin de l'adapter à ces quatre mélanges problématiques. Cette observation vient probablement du fait que les sacs hydro-biodégradables fondent à une température beaucoup plus basse que les sacs traditionnels et qu'ils sont également beaucoup plus fluides que ces derniers. En effet, le tableau I montre que la température de fusion des sacs traditionnels est d'environ 130 °C avec un pic de fusion cristalline bien défini, alors que celle des sacs hydro-biodégradables est mal définie avec un pic de fusion cristalline peu intense, ce qui montre que ce type de sacs n'a pas un caractère cristallin important (voir les balayages enthalpiques à l'annexe A). Des essais d'extrusion avec les sacs traditionnels et les deux types de sacs hydro-biodégradables ont montré que la température minimale d'extrusion des sacs traditionnels est d'environ 180 °C alors que celle des sacs hydro-biodégradables est 60 °C plus faible, soit environ 120 °C. Les indices de fluidité mesurés sur les sacs hydro-biodégradables sont dans le meilleur des cas 194 fois plus importants que ceux des sacs traditionnels et dans le pire des cas 428 fois plus importants. Ces résultats démontrent hors de tout doute la plus grande fluidité des sacs hydro-biodégradables par rapport aux sacs traditionnels ou oxo-biodégradables.

Les quatre mélanges riches en sacs hydro-biodégradables ont été simplement effectués avec des granules produits à partir des granules de sacs traditionnels et des granules de sacs hydro-biodégradables pris individuellement. Les granules des sacs traditionnels ont été produits à partir du mélangeur thermocinétique selon le protocole expérimental établi. Les granules des sacs hydro-biodégradables n'ont pu être produits à l'aide du mélangeur thermocinétique puisque les sacs fondus collaient à la paroi de la chambre de mélange et qu'il était nécessaire de démonter cette chambre pour retirer la matière fondue. Pour produire ces granules, 150 grammes de sacs hydro-biodégradables ont été comprimés dans un moule en silicone et placés pendant une période de 2 heures dans un four préalablement chauffé à 150 °C. Après cette période, le moule a été retiré du four et une période minimale de 16 heures a été allouée afin de permettre à l'ensemble de revenir à la température ambiante. Les blocs de sacs hydro-biodégradables fondus obtenus par ce procédé ont été par la suite granulés selon les mêmes conditions déjà décrites.

Signalons que les sacs traditionnels et oxo-biodégradables ont des natures chimiques similaires et des comportements thermique et rhéologique comparables.

TABLEAU I PROPRIÉTÉS THERMIQUES DES SACS DE PLASTIQUE

SACS	TYPE	TEMPÉRATURE DE FUSION (°C) <i>voir la note 1</i>	SEUIL DE FLUIDITÉ (°C) <i>voir la note 2</i>	INDICE DE FLUIDITÉ (g/10 mn) <i>voir la note 3</i>
Trad	Traditionnel	132	180	0,12
NéoSac	Oxo	135	---	0,35
EPI	Oxo	128	---	1,09
Eco Film™	Hydro	non défini	120	51,4
BioBag®	Hydro	non défini	120	23,3

Note 1 : Les températures de fusion ont été obtenues par DSC (Differential Scanning Calorimeter).

Note 2 : Les seuils de fluidité correspondent à la température minimale d'extrusion sans problème.

Note 3 : Les indices de fluidité ont été mesurés selon la méthode ASTM D-1238 en utilisant les conditions « E » (190 °C et 2,16 kg).

5. PRODUCTION DE PROFILÉS ET DE PELLICULES

À partir des différents granules préparés à l'étape précédente, des profilés ont été produits par extrusion et des pellicules par extrusion-soufflage.

5.1 EXTRUSION DE PROFILÉS PROTOTYPES

Des profilés prototypes ont été produits dans une extrudeuse simple vis. L'extrudeuse utilisée était de marque AMUT avec une sortie maximale de 1 7/8 pouce de diamètre. Le rapport entre la longueur et le diamètre de la vis principale était égal à 24:1. À la sortie de l'extrudeuse, un bac de 40 pouces de long avec une circulation d'eau permettait aux profilés de se refroidir. Finalement, un système de traction et une unité de coupe complétaient le système d'extrusion. La figure 2 présente une vue d'ensemble du système de production des profilés par extrusion.

Des essais préliminaires réalisés à partir des granules provenant des sacs traditionnels ont permis de définir les dimensions de la filière et du conformateur afin d'obtenir des profilés de 0,50 pouce d'épaisseur et 0,25 pouce de largeur. Ces essais préliminaires ont également permis de définir les conditions expérimentales afin d'obtenir des profilés de qualité. D'excellents résultats ont été obtenus en adoptant les conditions suivantes pour les granules des sacs traditionnels :

Extrudeuse : Température de chauffe des cinq stages égale à 188, 195, 230, 195 et 185 °C.

Extrudeuse : Vitesse de rotation de la vis principale égale à 17 tours par minute.

Tireur : Vitesse d'extrusion égale à 4,3 pieds par minute.

Pour les granules provenant des huit mélanges des sacs traditionnels et des sacs oxo-biodégradables (NéoSac et EPI), les mêmes conditions expérimentales ont été utilisées pour produire les profilés nécessaires aux essais.



Figure 2 **Système de production des profilés par extrusion**

En ce qui concerne les sacs hydro-biodégradables « Eco Film™ » et « BioBag® », les conditions expérimentales adoptées pour les granules des sacs traditionnels seuls ont permis de produire des profilés de qualité pour les mélanges contenant 5 % et 10 % de sacs hydro-biodégradables. Comme précédemment, les mélanges plus riches en sacs hydro-biodégradables (25 % et 50 %) ont causé plusieurs problèmes d'extrusion et il a été nécessaire de modifier les conditions expérimentales afin d'obtenir des profilés de qualité. Il a déjà été démontré que les sacs hydro-biodégradables ont une température de fusion plus basse que les sacs traditionnels et que ces sacs sont beaucoup plus fluides à l'état fondu que les sacs traditionnels. À des températures d'extrusion élevées, les profilés provenant des granules riches en sacs hydro-biodégradables sont tellement mous qu'il est impossible de les diriger vers le bassin de refroidissement sans les briser. En fait, ces profilés se présentaient davantage dans un état quasi-liquide plutôt que solide.

Des essais supplémentaires ont permis de définir de nouvelles températures de chauffe afin d'obtenir des profilés de qualité avec les granules des quatre mélanges de sacs traditionnels et hydro-biodégradables problématiques. Ces conditions sont :

Extrudeuse : Température de chauffe des cinq stages égale à 145, 150, 157, 140 et 140 °C.

Les autres paramètres d'extrusion demeurant constants.

Lorsque l'extrusion d'un type de mélange était terminée, il fallait passer à un autre type en évitant toute forme de contamination entre les mélanges. Pour ce faire, la tête de l'extrudeuse était retirée et complètement nettoyée manuellement. De plus, le cœur de l'extrudeuse, c'est-à-dire la partie cylindrique avec la vis sans fin, était entièrement vidé de son contenu. Lors de l'introduction d'un nouveau mélange, les 24 premiers pieds étaient systématiquement rejetés afin de permettre au système d'extrusion de se stabiliser. Par la suite, entre 11 et 14 profilés de 8 pieds de long étaient produits pour fins d'évaluation.

Tous les profilés produits ont, par la suite, été placés dans des sacs noirs étanches afin d'éviter autant que possible une dégradation prématurée causée par l'air ambiant et la lumière.

5.2 EXTRUSION-SOUFFLAGE DE PELLICULES PROTOTYPES

Des pellicules prototypes ont été produites par extrusion-soufflage. L'équipement utilisé était identique à l'équipement de production des profilés, sauf en ce qui concerne la filière à la sortie de l'extrudeuse qui était adaptée pour l'extrusion-soufflage. La figure 3 présente une vue d'ensemble du système de production des pellicules par extrusion-soufflage.



Figure 3 **Système de production des pellicules par extrusion-soufflage**

Des essais préliminaires ont permis de définir les conditions expérimentales afin d'obtenir des pellicules de qualité avec une épaisseur entre 3 et 5 millièmes de pouce. D'excellents résultats ont été obtenus en adoptant les conditions suivantes pour les granules des sacs traditionnels :

- Température de chauffe des cinq stages égale à 188, 195, 230, 195 et 185 °C.
- Vitesse de rotation de la vis principale égale à 17 tours par minute.
- À la sortie de l'extrudeuse, la paraison avait un diamètre de 2,00 pouces avec un entrefer de 0,015 pouce. Une pression d'air interne augmentait le diamètre de la paraison à 6,37 pouces.

Pour les granules provenant des sacs traditionnels ainsi que les huit mélanges de sacs traditionnels et de sacs oxo-biodégradables « NéoSac et EPI », ces mêmes conditions expérimentales ont été utilisées pour produire les pellicules nécessaires aux essais.

En ce qui concerne les sacs hydro-biodégradables « Eco Film™ » et « BioBag® », les mêmes conditions expérimentales ont permis de produire des profilés de qualité pour les mélanges contenant 5 % et 10 % de sacs hydro-biodégradables. Comme précédemment, les mélanges plus riches en sacs hydro-biodégradables (25 % et 50 %) ont causé plusieurs problèmes d'extrusion-soufflage et il a été nécessaire de modifier les conditions expérimentales afin d'obtenir des pellicules de qualité.

En abaissant la température des cinq stages du système de chauffage de l'extrudeuse à un niveau égal à 145, 150, 157, 140 et 140 °C, il a été possible de produire des pellicules de qualité avec 25 % des deux types de sacs hydro-biodégradables et avec 50 % de sacs hydro-biodégradables de type « BioBag® ». Toutefois, l'épaisseur des pellicules a dû être augmentée entre 5 et 7 millièmes de pouce, en abaissant la pression interne de soufflage afin d'obtenir des pellicules de qualité. En effet, en maintenant une pression de soufflage plus élevée afin d'obtenir des pellicules dont l'épaisseur serait comprise entre 3 et 5 millièmes de pouce, les pellicules produites étaient fragiles et déchiraient facilement.

Malgré de nombreux efforts, il fut impossible de produire des pellicules de qualité avec 50 % de sacs hydro-biodégradables de type « Eco Film™ ». Les pellicules obtenues étaient très fragiles et déchiraient facilement lorsque manipulées.

Un essai supplémentaire avec uniquement les granules de sacs hydro-biodégradables de type « Eco Film™ » a montré qu'il était possible de produire des pellicules de qualité à partir de ce matériau. La température des cinq stages du système de chauffage de l'extrudeuse a cependant été réduite à un niveau égal à 120, 125, 125, 120 et 120 °C. Les résultats de cet essai montrent que ce ne sont pas les granules de sacs hydro-biodégradables de type « Eco Film™ » qui causent des problèmes, mais bien le mélange 50:50 avec les granules provenant des sacs traditionnels.

Pour éviter toute forme de contamination entre les mélanges, l'extrudeuse était entièrement vidée de son contenu lorsque l'extrusion-soufflage d'un type de mélange était terminée et qu'il fallait passer à un autre type de mélange. Lors de la production d'un type de pellicule, 3 kilogrammes de granules étaient introduits dans la trémie d'alimentation et la production était maintenue jusqu'à l'épuisement de la matière de base. De cette façon, environ 58 mètres de pellicule étaient produits, ce qui est plus que suffisant pour réaliser les essais de caractérisation. Pour être encore plus certain de l'intégrité des mélanges, les éprouvettes nécessaires aux divers essais ont été prioritairement prises à la fin de l'extrusion-soufflage afin d'éliminer la possibilité que le début de la production soit contaminé par la production précédente ou que l'épaisseur des pellicules ne soit pas constante en raison de l'instabilité du début de la production.

Comme précédemment, les pellicules produites étaient entreposées dans des sacs noirs étanches afin d'éviter autant que possible leur exposition à l'air ambiant et à la lumière.

6. DESCRIPTION DES ESSAIS DE PERFORMANCE ET DU VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ

Les éprouvettes nécessaires aux essais ont été préparées en découpant et en usinant les profilés prototypes extrudés et en découpant les pellicules prototypes extrudées-soufflées.

6.1 ESSAIS DE PERFORMANCE POUR LES PROFILÉS

Les performances de résistance à la flexion et de résistance à l'impact des éprouvettes provenant des profilés prototypes extrudés ont été mesurées.

Les essais de résistance mécanique en flexion (tension maximale, déflexion à la rupture et module élastique) ont été réalisés à l'aide d'un dynamomètre Instron, modèle 4206, équipé d'une cellule de charge de 0-200 livres. Ces essais ont été réalisés selon les conditions de la norme ASTM D-790 (*Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*) à la température ambiante selon la méthode « B » (flexion en trois points). Les éprouvettes utilisées avaient une longueur de 6 pouces, la portée adoptée pour les essais était de 4 pouces et la vitesse des essais était de 0,5 pouce par minute. Pour chaque type d'éprouvettes, les essais ont été réalisés à six reprises.

Les mesures de résistance à l'impact « Izod » ont été réalisées à la température ambiante à l'aide d'un mouton pendule Tinius Olsen, modèle 66, selon les conditions de la norme ASTM D-256 (*Standard Test Methods for Determining the Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics, Test Method A, Cantilever Beam Izod Type Test*). Ces essais ont été réalisés à partir d'éprouvettes avec une entaille. Pour chaque type d'éprouvettes, les essais ont été réalisés à six reprises.

6.2 ESSAIS DE PERFORMANCE POUR LES PELLICULES

Les performances en traction, en déchirure et en flexibilité ont été mesurées à partir des pellicules prototypes extrudées-soufflées.

Les essais de résistance mécanique en traction (tension au point de striction, élongation au point de striction, tension maximale, élongation à la rupture et énergie de rupture) ont été réalisés à l'aide d'un dynamomètre Instron, modèle 4206, équipé d'une cellule de charge de 0-200 livres. Ces essais ont été réalisés selon les conditions de la norme ASTM D-882 (*Test Method for Tensile Properties of Thin Plastics Sheeting*) à la température ambiante selon la méthode « B » (taux d'étirement constant). Les éprouvettes utilisées avaient une longueur de 6 pouces et une largeur de 0,875 pouce. La vitesse d'étirement était de 2,0 pouces par minute pour tous les essais. Pour chaque type d'éprouvettes, les essais ont été réalisés à six reprises.

Les essais de résistance mécanique à la déchirure ont été réalisés à l'aide d'un dynamomètre Instron, modèle 4206, équipé d'une cellule de charge de 0-200 livres. Ces essais ont été réalisés selon les conditions de la norme ASTM D-1938 (*Test Method for Tear-Propagation Resistance of Plastic Film and Thin Sheeting by a Single-Tear Method*) à la température ambiante. Les éprouvettes utilisées avaient une longueur de 6 pouces et une largeur de 1 pouce. La vitesse d'étirement était de 5 pouces par minute pour tous les essais. Pour chaque type d'éprouvettes, les essais ont été réalisés à six reprises.

Les essais de flexibilité ont été réalisés à l'aide d'un fleximètre Cantilever Taber V-5 Stiffness Tester, modèle 150-B. Ces essais ont été réalisés selon les conditions de la norme ASTM D-747 (*Test Method for Apparent Bending Modulus of Plastics by Means of a Cantilever Beam*) à la température ambiante. Les éprouvettes utilisées avaient une longueur de 4 pouces et une largeur de 1,5 pouce. Pour chaque type d'éprouvettes, les essais ont été réalisés à six reprises.

6.3 VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ

Pour accélérer la dégradation des profilés et des pellicules, une partie des éprouvettes a été exposée à des rayons UV, dans une atmosphère chaude et humide. Le protocole expérimental retenu est celui présenté dans la norme ASTM D-5208 (*Practice for Operating Fluorescent Ultraviolet and Condensation Apparatus for Exposure of Photodegradable Plastics*), selon la procédure « A » (20 heures de rayons UV avec des lampes UVA-340 à 50 °C suivi de 4 heures d'humidité à 40 °C pour chaque cycle d'exposition). Le taux d'humidité était d'environ 60 % lors de la phase d'exposition aux rayons UV, et égal à 100 % lors de la phase de condensation.

Les éprouvettes provenant des profilés ont subi 7, 14 et 28 cycles (1, 2 et 4 semaines) de vieillissement accéléré. Les éprouvettes des profilés ont été placées au centre de l'équipement afin que les quatre faces soient exposées aux rayons UV.

Les éprouvettes provenant des pellicules ont subi 2, 4 et 7 cycles (2, 4 et 7 jours) de vieillissement accéléré. Les éprouvettes ont été placées sur les supports métalliques fournis avec l'équipement pour les essais de vieillissement accéléré.

7. CARACTÉRISATION INITIALE DES PROFILÉS ET DES PELLICULES

7.1 CARACTÉRISATION INITIALE DES PROFILÉS

Des essais de flexion et de résistance à l'impact ont été réalisés sur des éprouvettes provenant des profilés fabriqués à partir des sacs traditionnels et des seize mélanges de sacs traditionnels et de sacs biodégradables. Ces essais ont été effectués sur des éprouvettes n'ayant pas subi de vieillissement accéléré à la suite d'une exposition à des rayons UV dans une atmosphère chaude et humide. Les résultats obtenus sont présentés au tableau II.

Les mélanges entre les sacs traditionnels et les oxo-biodégradables « NéoSac » n'apportent pas de très grandes modifications au niveau des propriétés mécaniques en flexion. En effet, une baisse régulière de la tension maximale et du module élastique est bien observée avec une augmentation de la concentration en sacs « NéoSac », mais cette baisse est peu importante. En ce qui concerne la déflexion maximale, elle demeure constante à $7,9 \pm 0,1$ % pour toutes les concentrations de ce type de sacs. La résistance à l'impact augmente régulièrement de 37 joules par mètre pour les mélanges contenant 5 % de sacs « NéoSac » à 89 joules par mètre pour les mélanges plus riches (50 %).

Les mêmes observations s'appliquent pour les mélanges entre les sacs traditionnels et les sacs oxo-biodégradables « EPI », sauf que les effets se font nettement plus sentir. En effet, la tension maximale des mélanges contenant 50 % de sacs oxo-biodégradables est égale à 3 203 livres par pouce carré pour les sacs « NéoSac » (baisse de 10 % par rapport aux sacs traditionnels), alors qu'elle est de 2 648 livres par pouce carré pour les sacs « EPI » (baisse de 26 % par rapport aux sacs traditionnels). Les mêmes conclusions s'appliquent pour le module élastique qui est égal à 102 100 livres par pouce carré pour les mélanges contenant 50 % de sacs « NéoSac » (baisse de 11 % par rapport aux sacs traditionnels), alors qu'il est égal à 75 700 livres

par pouce carré pour la même concentration du mélange avec les sacs « EPI » (baisse de 34 % par rapport aux sacs traditionnels). Comme précédemment, la déflexion maximale demeure relativement constante à environ 8,0 % pour tous les mélanges avec les sacs « EPI ». La résistance à l'impact suit la même tendance puisqu'elle augmente régulièrement avec une augmentation de la concentration en sacs « EPI », mais à un rythme plus important qu'avec les sacs « NéoSac ». Il en est de même que pour une concentration égale à 50 % en sacs « EPI », la résistance à l'impact mesurée est égale à 193 joules par mètre (3,3 fois supérieure aux sacs traditionnels), soit le plus haut résultat obtenu au cours de cette étude.

TABLEAU II PERFORMANCES INITIALES DES PROFILÉS

SACS		FLEXION			IMPACT
Traditionnel	Biodégradable	Tension (psi)	Déflexion (%)	Module (psi)	Izod (J/m)
100 %	-----	3 576	7,8	115 200	32
95 %	5 % NéoSac	3 455	7,9	112 800	37
90 %	10 % NéoSac	3 397	7,9	109 500	50
75 %	25 % NéoSac	3 281	7,9	105 900	79
50 %	50 % NéoSac	3 203	8,0	102 100	89
95 %	5 % EPI	3 488	7,9	111 400	64
90 %	10 % EPI	3 377	8,0	106 500	78
75 %	25 % EPI	3 079	8,0	94 400	86
50 %	50 % EPI	2 648	8,4	75 700	193
95 %	5 % Eco Film™	3 127	8,1	94 700	38
90 %	10 % Eco Film™	2 712	8,8	74 300	64
75 %	25 % Eco Film™	2 668	8,6	73 700	58
50 %	50 % Eco Film™	1 595	5,7	44 300	44
95 %	5 % BioSac®	3 674	7,8	125 000	44
90 %	10 % BioSac®	3 435	8,0	112 600	64
75 %	25 % BioSac®	3 021	8,5	88 600	52
50 %	50 % BioSac®	1 872	4,7	61 600	26

De tous les mélanges étudiés, ce sont ceux avec les sacs hydro-biodégradables « Eco Film™ » qui ont présenté les chutes de performance en flexion les plus significatives. Les baisses de la tension maximale et du module élastique sont importantes même pour des concentrations aussi faibles que 5 % en sacs « Eco Film™ ». En fait, les résultats obtenus pour ces deux propriétés avec 5 % de sacs « Eco Film™ » sont inférieurs à ceux des mélanges contenant 50 % de sacs « NéoSac ». Pour des mélanges contenant 50 % de sacs « Eco Film™ », les baisses de la tension maximale et du module élastique sont égales à 55 % et 62 % respectivement par rapport aux sacs traditionnels. Pour les mélanges avec ce type de sacs, la résistance à l'impact augmente régulièrement allant jusqu'à doubler les performances par rapport aux sacs traditionnels seuls lorsque la concentration en sacs « Eco Film™ » est égale à 10 %. Cependant, pour des concentrations supérieures en sacs hydro-biodégradables, les résultats obtenus montrent une décroissance des performances à l'impact.

Les baisses de propriétés en flexion sont également importantes pour l'autre type de sacs hydro-biodégradables « BioBag® », quoique moins spectaculaires qu'avec les sacs « Eco Film™ ». Toutefois, ces baisses sont plus importantes que celles observées avec les deux types de sacs oxo-biodégradables. Le comportement à l'impact des mélanges avec les sacs « BioBag® » est similaire à celui observé avec les sacs « Eco Film™ ».

7.2 CARACTÉRISATION INITIALE DES PELLICULES

Des essais de traction, de résistance à la déchirure et de flexibilité ont été réalisés sur des éprouvettes provenant des pellicules fabriquées à partir des sacs traditionnels et des quinze mélanges de sacs traditionnels et de sacs biodégradables. Ces essais ont été effectués sur des éprouvettes n'ayant pas subi de vieillissement accéléré à la suite d'une exposition à des rayons UV dans une atmosphère chaude et humide. Les résultats obtenus sont présentés au tableau III.

Les mélanges entre les sacs traditionnels et les sacs oxo-biodégradables « NéoSac » n'apportent pas de très grandes modifications au niveau des propriétés mécaniques en traction. En effet, une baisse régulière de la tension au point de striction (Yield Point) a bien été enregistrée avec une augmentation de la concentration en sacs « NéoSac », mais cette baisse est peu importante. Il en est de même pour l'élongation au point de striction où une légère augmentation des performances a été obtenue avec un accroissement de la concentration en sacs « NéoSac ».

TABLEAU III PERFORMANCES INITIALES DES PELLICULES

SACS		TRACTION					DÉCHIRURE	FLEXIBILITÉ
Traditionnel	Biodégradable	Tension Striction (psi)	Élongation Striction (%)	Tension Maximale (psi)	Élongation Rupture (%)	Énergie Rupture (J/cm ³)	(lb/po)	à 7,5° Initiale (psi)
100 %	-----	3 352	9,4	3 083	615	114	868	154 200
95 %	5 % NéoSac	3 203	10,2	3 162	673	120	875	168 200
90 %	10 % NéoSac	3 148	11,0	4 005	709	137	897	162 800
75 %	25 % NéoSac	3 056	11,3	4 313	716	145	829	162 200
50 %	50 % NéoSac	3 023	12,7	4 461	770	151	973	180 600
95 %	5 % EPI	2 997	12,3	3 809	731	132	947	267 500
90 %	10 % EPI	2 905	12,9	4 787	750	147	921	234 200
75 %	25 % EPI	2 771	12,8	5 150	780	155	969	211 500
50 %	50 % EPI	2 521	14,8	5 456	820	163	918	185 900
95 %	5 % Eco Film™	3 365	11,0	2 986	476	92	324	111 600
90 %	10 % Eco Film™	3 181	14,6	2 774	388	73	164	102 500
75 %	25 % Eco Film™	-----	-----	2 556	18	2,2	21	97 700
50 %	50 % Eco Film™	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
95 %	5 % BioBag®	3 430	14,3	2 934	149	37	285	135 600
90 %	10 % BioBag®	3 624	21,4	3 185	152	39	140	138 600
75 %	25 % BioBag®	-----	-----	2 993	13	1,9	15	73 700
50 %	50 % BioBag®	-----	-----	1 669	5,1	0,3	8,0	54 100

En ce qui concerne les trois propriétés à la rupture mesurées (tension maximale, élongation à la rupture et énergie de rupture), il y a une augmentation des performances avec une augmentation de la concentration en sacs « NéoSac ». Cette augmentation est plus marquée avec les propriétés à la rupture qu'avec les propriétés au point de striction. Les résultats obtenus pour la résistance à la déchirure et la flexibilité des pellicules fabriquées avec des mélanges de sacs traditionnels et de sacs oxo-biodégradables « NéoSac » suivent la même tendance, en ce sens qu'une augmentation significative mais peu importante des performances est observée avec une augmentation de la concentration en sacs « NéoSac ».

Les mêmes observations s'appliquent pour les mélanges entre les sacs traditionnels et l'autre type de sacs oxo-biodégradables, soit les sacs « EPI », cependant les effets sont plus importants en ce qui concerne les mesures de traction. En effet, la baisse de tension au point de striction est plus importante avec les mélanges contenant les sacs « EPI » qu'avec ceux contenant les sacs « NéoSac ». De même, l'augmentation des propriétés mesurées pour l'élongation au point de striction, la tension maximale, l'élongation à la rupture et l'énergie de rupture sont significativement plus importantes avec les mélanges contenant les sacs « EPI » qu'avec ceux contenant les sacs « NéoSac ». Les résultats obtenus pour la résistance à la déchirure des divers mélanges avec les sacs « EPI » sont excellents puisque toutes les mesures réalisées sont supérieures à 900 livres par pouce d'épaisseur. Toutefois, les résultats obtenus ne progressent pas régulièrement avec une augmentation de la concentration en sacs « EPI ». Cette situation vient probablement du fait que lors de la réalisation des essais de résistance à la déchirure avec les éprouvettes provenant des sacs traditionnels et des mélanges avec les sacs traditionnels et les deux types de sacs oxo-biodégradables « NéoSac et EPI », il a été observé qu'il y a effectivement progression régulière de la déchirure au niveau de l'amorce, mais également apparition du phénomène de striction. Cette striction provoquait une torsion de l'éprouvette, ce qui s'est traduit par une variabilité plus importante que la normale dans les résultats bruts.

Les essais de flexibilité réalisés sur les différentes éprouvettes montrent que la rigidité des mélanges augmente jusqu'à ce que la concentration en sacs « EPI » atteigne la valeur de 10 %. Par la suite, cette rigidité diminue progressivement. Tous les mélanges effectués avec les sacs « EPI » présentent des performances en flexibilité supérieures à celles des sacs traditionnels à l'état pur.

Les mélanges étudiés qui contiennent 5 % et 10 % de sacs hydro-biodégradables « Eco Film™ » présentent une chute significative, mais peu importante, de la tension au point de striction. De même, une légère augmentation de l'élongation au point de striction est observée lorsque la concentration en sacs « Eco Film™ » augmente. Pour le mélange contenant 25 % de sacs « Eco Film™ », aucun phénomène de striction n'a été observé. Rappelons que le mélange avec 50 % de sacs « Eco Film™ » n'a pu être produit par extrusion-soufflage.

Les trois propriétés en traction qui amènent les éprouvettes à la rupture montrent une baisse significative des performances avec une augmentation de la concentration en sacs « Eco Film™ ». Pour le mélange contenant 25 % de sacs « Eco Film™ », cette baisse est très importante pour l'élongation à la rupture et l'énergie de rupture. En effet, lorsque les mélanges passent de 10 % à 25 % en sacs « Eco Film™ », l'élongation à la rupture chute de 338 à 18 % et l'énergie de rupture chute de 73 à 2 J/cm³. À titre indicatif, l'élongation à la rupture et l'énergie de rupture des sacs traditionnels sont égales à 615 % et 114 J/cm³ respectivement.

La résistance à la déchirure subit une chute importante des propriétés en fonction de la concentration en sacs « Eco Film™ ». Elle passe de 868 lb/po pour les sacs traditionnels à 324 lb/po pour un mélange contenant uniquement 5 % de sacs « Eco Film™ » et à 21 lb/po pour un mélange à 25 % de sacs « Eco Film™ ». Une chute également importante de la flexibilité a été enregistrée avec une augmentation de la concentration en sacs « Eco Film™ ».

Les propriétés mesurées avec les mélanges contenant l'autre type de sacs hydro-biodégradables, les sacs « BioBag® », présentent le même comportement que celles mesurées avec les sacs « Eco Film™ ». Toutefois, les effets sont plus marqués avec ce type de sacs qu'avec ceux de « Eco Film™ ». La tension et l'élongation au point de striction augmentent pour des mélanges contenant 5 et 10 % de sacs « BioBag® ». Aucun phénomène de striction n'a été observé pour des mélanges contenant 25 et 50 % de sacs « BioBag® ». La tension maximale demeure relativement constante à 3 000 livres par pouce carré pour les mélanges contenant 5, 10 et 25 % de sacs « BioBag® », mais chute brutalement à 1 669 livres par pouce carré pour le mélange à 50 %. L'élongation à la rupture passe de 615 % pour les sacs traditionnels à 150 % pour les mélanges pauvres en sacs « BioBag® » (5 et 10 %) et chute ensuite brutalement pour atteindre uniquement 5 % pour le mélange contenant 50 % de sacs « BioBag® ». L'énergie de rupture suit le même cheminement que l'élongation à la rupture. Elle passe de 114 J/cm³ pour les sacs traditionnels à 0,3 J/cm³ pour le mélange contenant 50 % de sacs « BioBag® ». Finalement, la résistance à la déchirure ainsi que la flexibilité présentent également des chutes de performance très importantes lorsque la concentration en sacs « BioBag® » augmente.

8. CARACTÉRISATION DES PROFILÉS ET DES PELLICULES APRÈS LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ

Une partie des profilés et des pellicules ont subi un conditionnement spécial en les exposant à plusieurs cycles de vieillissement accéléré, où chaque cycle correspondait à une exposition de 20 heures à des rayons UV avec des lampes fluorescentes UVA-340 à 50 °C suivi de 4 heures d'humidité à 40 °C sans rayons UV. À la suite de ce conditionnement, les éprouvettes des profilés et des pellicules ont été caractérisées et les performances ont été comparées à celles des éprouvettes n'ayant pas subi de conditionnement particulier.

8.1 CARACTÉRISATION DES PROFILÉS APRÈS LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ

Des essais de flexion et de résistance à l'impact ont été réalisés sur des éprouvettes provenant des profilés fabriqués à partir des sacs traditionnels et des seize mélanges de sacs traditionnels et de sacs biodégradables. Ces essais ont été effectués sur des éprouvettes ayant subi un vieillissement accéléré d'une, deux et quatre semaines à la suite d'une exposition à des rayons UV dans une atmosphère chaude et humide. Les résultats des essais de flexion sont présentés aux tableaux IV, V et VI, alors que les résultats de l'essai de résistance à l'impact sont présentés au tableau VII.

Le vieillissement accéléré ne semble pas avoir eu d'impact significatif sur les éprouvettes fabriquées à partir des sacs traditionnels uniquement après un vieillissement accéléré d'une et deux semaines, puisque les résultats des essais sont, à l'erreur expérimentale près, identiques à ceux des témoins (sans vieillissement accéléré). Toutefois, une augmentation significative des performances à l'impact a été enregistrée à la suite d'une exposition de quatre semaines à des rayons UV dans une atmosphère chaude et humide.

Les résultats des essais de résistance à l'impact montrent que les mélanges de sacs traditionnels et des sacs oxo-biodégradables « NéoSac et EPI » sont peu affectés par un vieillissement accéléré d'une semaine. Toutefois, une chute significative des performances à l'impact est observée pour des expositions de deux et quatre semaines à des rayons UV dans une atmosphère chaude et humide. Cette chute est cependant plus importante pour les mélanges avec les sacs « EPI » que ceux avec les sacs « NéoSac ». Toutefois, il faut souligner que tous les résultats de résistance à l'impact des éprouvettes contenant les deux types de sacs oxo-biodégradables « NéoSac et EPI », et qui ont subi un vieillissement accéléré de quatre semaines, sont supérieurs au

résultat initial (sans vieillissement accéléré) de résistance à l'impact des éprouvettes fabriquées avec les sacs traditionnels à l'état pur.

TABLEAU IV PERFORMANCES COMPARÉES DES RÉSULTATS DE TENSION MAXIMALE EN FLEXION (psi) DES PROFILÉS APRÈS LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ

SACS		DURÉE DU VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ			
Traditionnel	Biodégradable	Initial	7 jours	14 jours	28 jours
100 %	-----	3 576	3 570 (-0)	3 478 (-3)	3 684 (+3)
95 %	5 % NéoSac	3 455	3 629 (+5)	3 450 (-0)	3 655 (+6)
90 %	10 % NéoSac	3 397	3 406 (+0)	3 454 (+2)	3 537 (+4)
75 %	25 % NéoSac	3 281	3 475 (+6)	3 297 (+1)	3 386 (+3)
50 %	50 % NéoSac	3 203	3 414 (+7)	3 088 (-4)	3 329 (+4)
95 %	5 % EPI	3 488	3 565 (+2)	3 302 (-5)	3 587 (+3)
90 %	10 % EPI	3 377	3 480 (+3)	3 269 (-3)	3 597 (+7)
75 %	25 % EPI	3 079	2 949 (-4)	3 018 (-2)	3 285 (+7)
50 %	50 % EPI	2 648	2 653 (+0)	2 617 (-1)	2 732 (+3)
95 %	5 % Eco Film™	3 127	3 205 (+3)	3 596 (+15)	3 737 (+20)
90 %	10 % Eco Film™	2 712	2 992 (+10)	3 169 (+17)	3 162 (+17)
75 %	25 % Eco Film™	2 668	2 865 (+7)	2 897 (+9)	2 899 (+9)
50 %	50 % Eco Film™	1 595	1 697 (+6)	1 754 (+10)	1 677 (+5)
95 %	5 % BioBag®	3 674	3 498 (-5)	3 707 (+1)	3 893 (+6)
90 %	10 % BioBag®	3 435	3 600 (+5)	3 589 (+5)	3 831 (+11)
75 %	25 % BioBag®	3 021	3 213 (+6)	3 031 (+0)	3 231 (+7)
50 %	50 % BioBag®	1 872	1 868 (-0)	1 831 (-2)	1 812 (-3)

Note : Les chiffres entre parenthèses indiquent la variation de propriétés par rapport aux performances initiales.

TABLEAU V PERFORMANCES COMPARÉES DES RÉSULTATS DE DÉFLECTION MAXIMALE EN FLEXION (%) DES PROFILÉS APRÈS LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ

SACS		DURÉE DU VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ			
Traditionnel	Biodégradable	Initial	7 jours	14 jours	28 jours
100 %	-----	7,8	7,8 (0)	8,0 (+3)	8,3 (+6)
95 %	5 % NéoSac	7,9	7,9 (+1)	8,0 (+2)	7,9 (+1)
90 %	10 % NéoSac	7,9	8,2 (+3)	8,2 (+3)	8,1 (+2)
75 %	25 % NéoSac	7,9	8,2 (+3)	8,3 (+5)	8,1 (+2)
50 %	50 % NéoSac	8,0	8,2 (+2)	8,1 (+1)	8,1 (+1)
95 %	5 % EPI	7,9	8,1 (+2)	8,1 (+2)	8,3 (+5)
90 %	10 % EPI	8,0	8,2 (+3)	8,3 (+4)	8,7 (+8)
75 %	25 % EPI	8,0	8,2 (+3)	8,7 (+8)	8,7 (+9)
50 %	50 % EPI	8,4	8,5 (+1)	8,8 (+4)	9,0 (+6)
95 %	5 % Eco Film™	8,1	8,7 (+7)	8,2 (+1)	8,4 (+4)
90 %	10 % Eco Film™	8,8	9,5 (+7)	8,1 (-8)	8,6 (-2)
75 %	25 % Eco Film™	8,6	9,6 (+11)	9,0 (+5)	9,0 (+5)
50 %	50 % Eco Film™	5,7	6,0 (+5)	5,9 (+3)	5,5 (-4)
95 %	5 % BioBag®	7,8	8,1 (+4)	8,2 (+6)	8,0 (+3)
90 %	10 % BioBag®	8,0	8,3 (+3)	8,2 (+3)	8,4 (+5)
75 %	25 % BioBag®	8,5	9,1 (+7)	8,6 (+2)	8,3 (-2)
50 %	50 % BioBag®	4,7	4,5 (-5)	4,5 (-3)	3,8 (-18)

Note : Les chiffres entre parenthèses indiquent la variation de propriétés par rapport aux performances initiales.

TABLEAU VI PERFORMANCES COMPARÉES DES RÉSULTATS DU MODULE ÉLASTIQUE EN FLEXION (psi) DES PROFILÉS APRÈS LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ

SACS		DURÉE DU VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ			
Traditionnel	Biodégradable	Initial	7 jours	14 jours	28 jours
100 %	-----	115 200	112 800 (-2)	112 200 (-3)	117 100 (+2)
95 %	5 % NéoSac	112 800	117 800 (+4)	109 800 (-3)	116 100 (+3)
90 %	10 % NéoSac	109 500	107 600 (-2)	107 500 (-2)	108 700 (-1)
75 %	25 % NéoSac	105 900	109 400 (+3)	100 600 (-5)	103 900 (-2)
50 %	50 % NéoSac	102 100	107 300 (+5)	95 700 (-6)	102 800 (+1)
95 %	5 % EPI	111 400	112 500 (+1)	102 900 (-8)	113 000 (+1)
90 %	10 % EPI	106 500	106 900 (+0)	102 100 (-4)	110 400 (+4)
75 %	25 % EPI	94 400	87 600 (-7)	90 000 (-5)	96 100 (+2)
50 %	50 % EPI	75 700	74 600 (-2)	73 800 (-3)	76 600 (+1)
95 %	5 % Eco Film™	94 700	93 800 (-1)	117 200 (+24)	120 000 (+27)
90 %	10 % Eco Film™	74 300	77 600 (+4)	97 100 (+31)	92 800 (+25)
75 %	25 % Eco Film™	73 700	72 900 (-1)	77 600 (+5)	79 300 (+8)
50 %	50 % Eco Film™	44 300	44 400 (+0)	44 100 (-0)	47 300 (+7)
95 %	5 % BioBag®	125 000	115 500 (-8)	117 800 (-6)	131 600 (+5)
90 %	10 % BioBag®	112 600	117 100 (+4)	115 400 (+2)	123 000 (+9)
75 %	25 % BioBag®	88 600	89 000 (+1)	88 500 (-0)	100 200 (+13)
50 %	50 % BioBag®	61 600	63 900 (+4)	62 500 (+1)	71 700 (+16)

Note : Les chiffres entre parenthèses indiquent la variation de propriétés par rapport aux performances initiales.

TABLEAU VII PERFORMANCES COMPARÉES DES RÉSULTATS DE RÉSISTANCE À L'IMPACT « IZOD » (J/m) DES PROFILÉS APRÈS LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ

SACS		DURÉE DU VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ			
Traditionnel	Biodégradable	Initial	7 jours	14 jours	28 jours
100 %	-----	32	30 (-5)	32 (+1)	45 (+43)
95 %	5 % NéoSac	37	35 (-5)	36 (-4)	32 (-13)
90 %	10 % NéoSac	50	53 (+6)	41 (-17)	39 (-23)
75 %	25 % NéoSac	79	85 (+7)	71 (-11)	63 (-21)
50 %	50 % NéoSac	89	88 (-1)	80 (-10)	77 (+14)
95 %	5 % EPI	64	62 (-3)	38 (-40)	39 (-38)
90 %	10 % EPI	78	77 (-1)	54 (-31)	54 (-31)
75 %	25 % EPI	86	90 (+6)	67 (-21)	63 (-27)
50 %	50 % EPI	193	170 (-12)	129 (-33)	120 (-37)
95 %	5 % Eco Film™	38	35 (-7)	30 (-21)	30 (-22)
90 %	10 % Eco Film™	64	41 (-37)	40 (-38)	35 (-46)
75 %	25 % Eco Film™	58	36 (-39)	37 (-37)	33 (-43)
50 %	50 % Eco Film™	44	25 (-43)	26 (-42)	21 (-53)
95 %	5 % BioBag®	44	28 (-35)	28 (-36)	30 (-32)
90 %	10 % BioBag®	64	23 (-64)	27 (-58)	29 (-55)
75 %	25 % BioBag®	52	31 (-40)	36 (-32)	30 (-42)
50 %	50 % BioBag®	26	16 (-38)	17 (-36)	14 (-47)

Note : Les chiffres entre parenthèses indiquent la variation de propriétés par rapport aux performances initiales.

Des changements importants ont été observés lors de la réalisation des essais de résistance à l'impact avec les mélanges de sacs traditionnels et de sacs hydro-biodégradables « Eco Film™ » et « BioBag® » et ce, même pour une période d'exposition d'une semaine à des rayons UV dans une atmosphère chaude et humide. En effet, des baisses très importantes ont été observées pour tous ces mélanges, à l'exception du mélange à 5 % en sacs « Eco Film™ » pour cette période d'exposition. Ces baisses peuvent atteindre jusqu'à 64 % de la valeur initiale. Pour des vieillissements accélérés de deux et quatre semaines, une chute des performances à

l'impact a été observée pour tous les mélanges avec les sacs hydro-biodégradables « Eco Film™ » et « BioBag® ».

Le vieillissement accéléré ne semble pas avoir eu d'impact sur les performances en flexion (tension maximale, déflexion maximale et module élastique) des éprouvettes fabriquées à partir des sacs traditionnels uniquement et des mélanges entre des sacs traditionnels et des sacs oxo-biodégradables « NéoSac et EPI ». En effet, les variations de performance sont inférieures à 8 % pour l'ensemble des éprouvettes étudiées. Le vieillissement accéléré n'a pas eu d'impact majeur sur les performances en flexion des mélanges entre les sacs traditionnels et les sacs hydro-biodégradables « Eco Film™ » et « BioBag® » à la suite d'une exposition d'une semaine à des rayons UV dans une atmosphère chaude et humide. Pour des périodes d'exposition plus longues, seuls les mélanges contenant 5 % et 10 % de sacs « Eco Film™ » montrent des changements significatifs de la tension maximale et du module élastique (une et deux semaines).

8.2 CARACTÉRISATION DES PELLICULES APRÈS LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ

Des essais de traction, de résistance à la déchirure et de flexibilité ont été réalisés sur des éprouvettes provenant des pellicules fabriquées à partir des sacs traditionnels et des quinze mélanges de sacs traditionnels et de sacs biodégradables. Ces essais ont été effectués sur des éprouvettes ayant subi un vieillissement accéléré de deux, quatre et sept jours à la suite d'une exposition à des rayons UV dans une atmosphère chaude et humide. Les résultats des essais de traction sont présentés aux tableaux VIII à XII, alors que les résultats de l'essai de résistance à la déchirure et de l'essai de flexibilité sont présentés aux tableaux XIII et XIV respectivement.

En bref, le vieillissement accéléré a eu un effet majeur sur l'ensemble des éprouvettes évaluées, incluant le témoin de sacs traditionnels. En effet, toutes les éprouvettes, incluant celles provenant des sacs traditionnels et des mélanges entre les sacs traditionnels et les sacs oxo-biodégradables « NéoSac et EPI », ne présentent plus de phénomène de striction après un vieillissement accéléré de sept jours. Les éprouvettes s'allongent sous l'effet de la contrainte mécanique et se rompent lorsque cette contrainte est supérieure à la limite élastique des matériaux sans jamais présenter de striction. Après deux et quatre jours d'exposition, les éprouvettes provenant des mélanges avec les sacs « EPI » présentent encore le phénomène de striction, mais seul le mélange contenant 5 % de sacs « NéoSac » présente ce phénomène après deux jours d'exposition. Les autres mélanges avec les sacs « NéoSac » ne présentent plus le phénomène de striction pour des temps d'exposition de deux jours ou plus.

Après quatre jours d'exposition aux rayons UV dans une atmosphère chaude et humide, les pellicules contenant 50 % de sacs « NéoSac » sont tellement fragiles qu'il est impossible de les manipuler sans les briser (voir la figure 4). Après sept jours d'exposition, les pellicules contenant 25 % et 50 % de sacs « NéoSac » sont complètement détruites comme l'illustre la figure 5. Ces pellicules sont extrêmement friables et se brisent au moindre toucher. Aucune mesure de performance n'a donc pu être réalisée sur ces pellicules.

Les performances obtenues lors des mesures de tension maximale sont présentées au tableau X. À la suite du vieillissement accéléré, la tension maximale des mélanges avec les sacs « NéoSac » chute très rapidement à mesure qu'augmente la teneur en sacs biodégradables, alors qu'elle demeure relativement constante pour les éprouvettes provenant des sacs traditionnels. Les performances en tension maximale chutent également de manière importante pour les mélanges préparés avec les sacs « EPI », mais à un rythme moins rapide. Pour les mélanges préparés avec les deux types de sacs hydro-biodégradables « Eco Film™ » et « BioBag® », la tension maximale chute régulièrement à mesure qu'augmente la concentration en sacs biodégradables, mais demeure relativement constante lorsque chaque mesure est comparée à celle des mélanges n'ayant pas subi de vieillissement accéléré.

Les performances obtenues lors des mesures d'élongation à la rupture et d'énergie de rupture sont présentées aux tableaux XI et XII respectivement. Pour les sacs traditionnels, tous les mélanges avec les sacs oxo-biodégradables « NéoSac et EPI » ainsi que les mélanges contenant 5 % et 10 % de sacs hydro-biodégradables « Eco Film™ » et « BioBag® », l'élongation à la rupture et l'énergie de rupture ont chuté de manière spectaculaire et ce, pour une période d'exposition aussi courte que deux jours. En effet, l'élongation à la rupture initiale de ces échantillons est égale à plusieurs centaines de pour cent et elle chute de 90 % après quatre jours d'exposition dans le meilleur des cas. Il en est de même pour l'énergie de rupture qui passe d'une valeur d'environ 150 J/cm³ pour les mélanges avec les sacs oxo-biodégradables, à des valeurs voisines de seulement quelques J/cm³ après un vieillissement accéléré de quatre jours et plus.

La chute de performance de ces deux propriétés est moins importante pour les mélanges avec 25 % et 50 % de sacs hydro-biodégradables « Eco Film™ » et « BioBag® », mais il faut comprendre que les mesures initiales étaient déjà relativement faibles et que le vieillissement accéléré n'a fait qu'abaisser davantage ces performances.

Les résultats de résistance à la déchirure, présentés au tableau XIII, montrent que l'ensemble des pellicules présente un comportement similaire à celui déjà observé lors des mesures d'élongation à la rupture et d'énergie de rupture.

Les résultats des essais de flexibilité (tableau XIV) montrent, de façon générale, qu'il y a une baisse des performances de cette propriété. Les éprouvettes ayant subi le vieillissement accéléré sont plus flexibles que celles n'ayant subi aucun traitement particulier. Les changements de flexibilité sont toutefois moins importants que ceux observés pour l'élongation à la rupture, l'énergie de rupture et la résistance à la déchirure.

TABLEAU VIII PERFORMANCES COMPARÉES DES RÉSULTATS DE TENSION AU POINT DE STRICTIION (psi) DES PELLICULES APRÈS LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ

SACS		DURÉE DU VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ			
Traditionnel	Biodégradable	Initial	2 jours	4 jours	7 jours
100 %	-----	3 352	3355 (+0)	----- (---)	----- (---)
95 %	5 % NéoSac	3 203	3425 (+7)	----- (---)	----- (---)
90 %	10 % NéoSac	3 148	----- (---)	----- (---)	----- (---)
75 %	25 % NéoSac	3 056	----- (---)	----- (---)	----- (---)
50 %	50 % NéoSac	3 023	----- (---)	----- (---)	----- (---)
95 %	5 % EPI	2 997	3032 (+1)	3336 (+11)	----- (---)
90 %	10 % EPI	2 905	3147 (+8)	3210 (+10)	----- (---)
75 %	25 % EPI	2 771	2851 (+3)	2998 (+8)	----- (---)
50 %	50 % EPI	2 521	2609 (+3)	2774 (+10)	----- (---)
95 %	5 % Eco Film™	3 365	3334 (-1)	----- (---)	----- (---)
90 %	10 % Eco Film™	3 181	3264 (+3)	----- (---)	----- (---)
75 %	25 % Eco Film™	-----	----- (---)	----- (---)	----- (---)
50 %	50 % Eco Film™	-----	----- (---)	----- (---)	----- (---)
95 %	5 % BioBag®	3 430	3534 (+3)	----- (---)	----- (---)
90 %	10 % BioBag®	3 624	3574 (-1)	----- (---)	----- (---)
75 %	25 % BioBag®	-----	----- (---)	----- (---)	----- (---)
50 %	50 % BioBag®	-----	----- (---)	----- (---)	----- (---)

Note : Les chiffres entre parenthèses indiquent la variation de propriétés par rapport aux performances initiales.

TABEAU IX PERFORMANCES COMPARÉES DES RÉSULTATS D'ÉLONGATION AU POINT DE STRICTON (%) DES PELLICULES APRÈS LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ

SACS		DURÉE DU VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ						
Traditionnel	Biodégradable	Initial	2 jours		4 jours		7 jours	
100 %	-----	9,4	8,9	(-5)	-----	(---)	-----	(---)
95 %	5 % NéoSac	10,2	12,9	(+26)	-----	(---)	-----	(---)
90 %	10 % NéoSac	11,0	-----	(---)	-----	(---)	-----	(---)
75 %	25 % NéoSac	11,3	-----	(---)	-----	(---)	-----	(---)
50 %	50 % NéoSac	12,7	-----	(---)	-----	(---)	-----	(---)
95 %	5 % EPI	12,3	8,0	(-35)	10,0	(-19)	-----	(---)
90 %	10 % EPI	12,9	12,7	(-1)	12,5	(-3)	-----	(---)
75 %	25 % EPI	12,8	13,8	(+8)	7,3	(-43)	-----	(---)
50 %	50 % EPI	14,8	14,4	(-2)	8,1	(-45)	-----	(---)
95 %	5 % Eco Film™	11,0	10,9	(-0)	-----	(---)	-----	(---)
90 %	10 % Eco Film™	14,6	11,2	(-24)	-----	(---)	-----	(---)
75 %	25 % Eco Film™	-----	-----	(---)	-----	(---)	-----	(---)
50 %	50 % Eco Film™	-----	-----	(---)	-----	(---)	-----	(---)
95 %	5 % BioBag®	14,3	12,6	(-12)	-----	(---)	-----	(---)
90 %	10 % BioBag®	21,4	14,6	(-32)	-----	(---)	-----	(---)
75 %	25 % BioBag®	-----	-----	(---)	-----	(---)	-----	(---)
50 %	50 % BioBag®	-----	-----	(---)	-----	(---)	-----	(---)

Note : Les chiffres entre parenthèses indiquent la variation de propriétés par rapport aux performances initiales.

TABLEAU X PERFORMANCES COMPARÉES DES RÉSULTATS DE TENSION MAXIMALE (psi) DES PELLICULES APRÈS LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ

SACS		DURÉE DU VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ						
Traditionnel	Biodégradable	Initial	2 jours		4 jours		7 jours	
100 %	-----	3 083	2 610	(-15)	3 448	(+12)	3 328	(+8)
95 %	5 % NéoSac	3 162	3 369	(+7)	1 520	(-52)	1 132	(-64)
90 %	10 % NéoSac	4 005	3 260	(-19)	1 717	(-57)	895	(-78)
75 %	25 % NéoSac	4 313	3 219	(-25)	818	(-81)	-----	(-100)
50 %	50 % NéoSac	4 461	1 385	(-69)	-----	(-100)	-----	(---)
95 %	5 % EPI	3 809	3 098	(-19)	3 099	(-19)	3 269	(-14)
90 %	10 % EPI	4 787	4 412	(-8)	2 771	(-42)	3 197	(-33)
75 %	25 % EPI	5 150	5 050	(-2)	2 688	(-48)	2 926	(-43)
50 %	50 % EPI	5 456	5 015	(-8)	2 637	(-52)	2 354	(-57)
95 %	5 % Eco Film™	2 986	2 772	(-7)	3 410	(+14)	2 890	(-3)
90 %	10 % Eco Film™	2 774	2 731	(-2)	3 527	(+27)	3 129	(+13)
75 %	25 % Eco Film™	2 556	2 926	(+14)	2 560	(+0)	2 417	(-5)
50 %	50 % Eco Film™	-----	-----	(---)	-----	(---)	-----	(---)
95 %	5 % BioBag®	2 934	3 146	(+7)	3 455	(+18)	3 444	(+17)
90 %	10 % BioBag®	3 185	3 388	(+6)	3 488	(+10)	3 087	(-3)
75 %	25 % BioBag®	2 993	3 261	(+9)	2 860	(-4)	2 355	(-21)
50 %	50 % BioBag®	1 669	1 827	(+9)	1 721	(+3)	1 742	(+4)

Note : Les chiffres entre parenthèses indiquent la variation de propriétés par rapport aux performances initiales.

TABLEAU XI PERFORMANCES COMPARÉES DES RÉSULTATS D'ÉLONGATION À LA RUPTURE (%) DES PELLICULES APRÈS LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ

SACS		DURÉE DU VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ						
Traditionnel	Biodégradable	Initial	2 jours		4 jours		7 jours	
100 %	-----	615	421	(-32)	11	(-98)	8,0	(-99)
95 %	5 % NéoSac	673	16	(-98)	1,9	(-100)	1,6	(-100)
90 %	10 % NéoSac	709	16	(-98)	1,1	(-100)	1,4	(-100)
75 %	25 % NéoSac	716	10	(-99)	1,0	(-100)	-----	(-100)
50 %	50 % NéoSac	770	1,9	(-100)	-----	(-100)	-----	(-100)
95 %	5 % EPI	731	580	(-21)	24	(-97)	8,0	(-99)
90 %	10 % EPI	750	736	(-2)	63	(-92)	7,7	(-99)
75 %	25 % EPI	780	765	(-2)	56	(-93)	7,0	(-99)
50 %	50 % EPI	820	797	(-3)	27	(-97)	4,7	(-99)
95 %	5 % Eco Film™	476	205	(-57)	19	(-96)	4,5	(-99)
90 %	10 % Eco Film™	388	122	(-69)	15	(-96)	5,7	(-99)
75 %	25 % Eco Film™	18	15	(+18)	8,3	(-54)	6,0	(-67)
50 %	50 % Eco Film™	-----	-----	(---)	-----	(---)	-----	(---)
95 %	5 % BioBag®	149	93	(-38)	20	(-87)	8,4	(-94)
90 %	10 % BioBag®	152	46	(-70)	14	(-91)	4,7	(-97)
75 %	25 % BioBag®	13	14	(+12)	8,6	(-32)	4,7	(-62)
50 %	50 % BioBag®	5,1	6,4	(+26)	5,7	(+11)	5,6	(+9)

Note : Les chiffres entre parenthèses indiquent la variation de propriétés par rapport aux performances initiales.

TABLEAU XII PERFORMANCES COMPARÉES DES RÉSULTATS D'ÉNERGIE DE RUPTURE (J/cm³) DES PELLICULES APRÈS LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ

SACS		DURÉE DU VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ						
Traditionnel	Biodégradable	Initial	2 jours		4 jours		7 jours	
100 %	-----	114	77	(-32)	2,1	(-98)	1,3	(-99)
95 %	5 % NéoSac	120	2,8	(-98)	0,1	(-100)	0,0	(-100)
90 %	10 % NéoSac	137	2,9	(-98)	0,0	(-100)	0,0	(-100)
75 %	25 % NéoSac	145	1,5	(-99)	0,0	(-100)	-----	(-100)
50 %	50 % NéoSac	151	0,1	(-100)	-----	(-100)	-----	(-100)
95 %	5 % EPI	132	105	(-20)	6,8	(-95)	1,2	(-99)
90 %	10 % EPI	147	144	(-2)	13,6	(-91)	1,1	(-99)
75 %	25 % EPI	155	151	(-2)	6,5	(-96)	0,9	(-99)
50 %	50 % EPI	163	151	(-7)	4,4	(-97)	0,4	(-100)
95 %	5 % Eco Film™	92	45	(-52)	4,0	(-96)	0,5	(-99)
90 %	10 % Eco Film™	73	28	(-62)	2,9	(-96)	0,7	(-99)
75 %	25 % Eco Film™	2,2	2,3	(+6)	1,0	(-52)	0,6	(-74)
50 %	50 % Eco Film™	-----	-----	(---)	-----	(---)	-----	(---)
95 %	5 % BioBag®	37	24	(-34)	4,1	(-89)	1,4	(-96)
90 %	10 % BioBag®	39	12	(-70)	2,8	(-93)	0,5	(-99)
75 %	25 % BioBag®	1,9	2,4	(+26)	1,2	(-39)	0,4	(-79)
50 %	50 % BioBag®	114	0,5	(+70)	0,4	(+40)	0,3	(+16)

Note : Les chiffres entre parenthèses indiquent la variation de propriétés par rapport aux performances initiales.

TABLEAU XIII PERFORMANCES COMPARÉES DES RÉSULTATS DE RÉSISTANCE À LA DÉCHIRURE (lb/po) DES PELLICULES APRÈS LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ

SACS		DURÉE DU VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ						
Traditionnel	Biodégradable	Initial	2 jours		4 jours		7 jours	
100 %	-----	868	576	(-34)	177	(-80)	53	(-94)
95 %	5 % NéoSac	875	319	(-64)	20	(-98)	18	(-98)
90 %	10 % NéoSac	897	128	(-86)	23	(-97)	14	(-98)
75 %	25 % NéoSac	829	38	(-95)	3,0	(-100)	-----	(-100)
50 %	50 % NéoSac	973	5,3	(-99)	-----	(-100)	-----	(-100)
95 %	5 % EPI	947	878	(-7)	215	(-77)	33	(-97)
90 %	10 % EPI	921	905	(-2)	169	(-82)	30	(-97)
75 %	25 % EPI	969	1 024	(+6)	377	(-61)	42	(-96)
50 %	50 % EPI	918	1 079	(+18)	366	(-60)	10	(-99)
95 %	5 % Eco Film™	324	185	(-43)	71	(-78)	28	(-91)
90 %	10 % Eco Film™	164	88	(-46)	54	(-67)	29	(-83)
75 %	25 % Eco Film™	21	18	(-14)	10	(-52)	11	(-46)
50 %	50 % Eco Film™	-----	-----	(---)	-----	(---)	-----	(---)
95 %	5 % BioBag®	285	237	(-17)	67	(-76)	61	(-79)
90 %	10 % BioBag®	140	104	(-26)	44	(-69)	31	(-78)
75 %	25 % BioBag®	15	16	(+7)	13	(-13)	12	(-23)
50 %	50 % BioBag®	8,0	8,8	(+10)	8,0	(0)	6,9	(-14)

Note : Les chiffres entre parenthèses indiquent la variation de propriétés par rapport aux performances initiales.

TABLEAU XIV PERFORMANCES COMPARÉES DES RÉSULTATS DE FLEXIBILITÉ (psi) DES PELLICULES APRÈS LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ

SACS		DURÉE DU VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ			
Traditionnel	Biodégradable	Initial	2 jours	4 jours	7 jours
100 %	-----	154 200	187 400 (+22)	179 500 (+16)	167 300 (+8)
95 %	5 % NéoSac	168 200	133 500 (-21)	142 300 (-15)	135 300 (-20)
90 %	10 % NéoSac	162 800	173 000 (+6)	180 100 (+11)	175 600 (+8)
75 %	25 % NéoSac	162 200	144 200 (-11)	178 300 (+10)	----- (-100)
50 %	50 % NéoSac	180 600	171 400 (-5)	----- (-100)	----- (-100)
95 %	5 % EPI	210 700	194 900 (-8)	184 100 (-13)	189 000 (-10)
90 %	10 % EPI	219 800	202 200 (-8)	217 700 (-1)	184 200 (-16)
75 %	25 % EPI	211 500	229 600 (+9)	230 100 (+9)	163 700 (-23)
50 %	50 % EPI	185 900	191 900 (+3)	139 700 (-25)	172 700 (-7)
95 %	5 % Eco Film™	111 600	117 000 (+5)	115 600 (+4)	117 600 (+5)
90 %	10 % Eco Film™	102 500	110 900 (+8)	119 600 (-17)	117 800 (+15)
75 %	25 % Eco Film™	97 700	81 100 (-17)	81 400 (-17)	80 100 (-18)
50 %	50 % Eco Film™	-----	----- (---)	----- (---)	----- (---)
95 %	5 % BioBag®	135 600	111 100 (-18)	116 000 (-14)	96 900 (-29)
90 %	10 % BioBag®	138 600	108 100 (-22)	101 600 (-27)	107 600 (-22)
75 %	25 % BioBag®	73 700	63 700 (-14)	57 500 (-22)	63 000 (-15)
50 %	50 % BioBag®	54 100	37 300 (-31)	51 400 (-5)	25 400 (-53)

Note : Les chiffres entre parenthèses indiquent la variation de propriétés par rapport aux performances initiales.



Figure 4 Pellicule contenant 50 % de sacs « NéoSac » après quatre jours d'exposition aux rayons UV dans une atmosphère chaude et humide



Figure 5 Pellicules contenant 25 % et 50 % de sacs « NéoSac » après sept jours d'exposition aux rayons UV dans une atmosphère chaude et humide

9. ÉTANCHÉITÉ DES SACS D'EAU

Afin de vérifier l'intégrité des pellicules, des sacs ont été fabriqués à partir de l'ensemble des pellicules extrudées-soufflées et suspendus après les avoir remplis d'eau. Pour fabriquer les sacs, les pellicules cylindriques ont été découpées en longueur de 15 pouces. Une des extrémités a été fermée à l'aide d'une scelleuse thermique à 0,5 pouce du bord et un trou a été réalisé sur l'autre extrémité afin de simuler une poignée. Le trou avait un diamètre d'un pouce et demi et le centre du trou était situé à 2 pouces du bord.

L'ensemble des sacs était suspendu sur un tuyau de cuivre de 0,5 pouce de diamètre comme le montre la figure 6. Les sacs ont été remplis d'eau jusqu'au niveau du trou et le niveau était vérifié quotidiennement. Les sacs contenaient environ 2 litres d'eau chacun. Pour chaque pellicule, trois sacs ont été fabriqués et évalués.

L'intégrité des sacs était vérifiée deux fois par jour et les résultats obtenus sont présentés au tableau XV.

Les sacs fabriqués avec les pellicules provenant des sacs traditionnels ou des mélanges des sacs traditionnels et des sacs oxo-biodégradables « NéoSac et EPI » ont très bien supporté le poids de l'eau pendant une période supérieure à 100 jours.

En ce qui concerne les sacs fabriqués avec des mélanges de sacs traditionnels et des sacs hydro-biodégradable « Eco Film™ », seuls les mélanges contenant 25 % de sacs « Eco Film™ » n'ont pas donné de résultats satisfaisants puisqu'ils se sont brisés lors du remplissage initial. Rappelons qu'il a été impossible de fabriquer des pellicules avec des mélanges contenant 50 % de sacs « Eco Film™ ».

Finalement, pour les sacs fabriqués avec des mélanges de sacs traditionnels et des sacs hydro-biodégradable « BioBag® », uniquement les sacs contenant 5 % de sacs « BioBag® » ont résisté au poids de l'eau sur une longue période. Pour leur part, les sacs contenant 10 % et 25 % de sacs « BioBag® » se sont brisés rapidement. Pour cet essai, il a été impossible de fabriquer des sacs contenant 50 % de sacs « BioBag® » qui présentaient suffisamment d'intégrité mécanique pour les installer sur le montage sans les briser.



Figure 6 Montage utilisé pour suspendre les sacs remplis d'eau

TABLEAU XV DURÉE DE VIE DE SACS REMPLIS D'EAU

SACS		NOMBRE DE JOURS AVANT L'OBSERVATION DE BRIS		
Traditionnel	Biodégradable	Essai - 1	Essai - 2	Essai - 3
100 %	-----	> 100	> 100	> 100
95 %	5 % NéoSac	> 100	> 100	> 100
90 %	10 % NéoSac	> 100	> 100	> 100
75 %	25 % NéoSac	> 100	> 100	> 100
50 %	50 % NéoSac	> 100	> 100	> 100
95 %	5 % EPI	> 100	> 100	> 100
90 %	10 % EPI	> 100	> 100	> 100
75 %	25 % EPI	> 100	> 100	> 100
50 %	50 % EPI	> 100	> 100	> 100
95 %	5 % Eco Film™	> 100	> 100	> 100
90 %	10 % Eco Film™	> 100	> 100	> 100
75 %	25 % Eco Film™	Note 1	Note 1	Note 1
50 %	50 % Eco Film™	----	----	----
95 %	5 % BioBag®	> 100	> 100	> 100
90 %	10 % BioBag®	Note 1	Note 1	Note 1
75 %	25 % BioBag®	Note 1	Note 1	Note 1
50 %	50 % BioBag®	Note 2	Note 2	Note 2

Note 1 : Les sacs tombent avant que le remplissage avec l'eau soit complété.

Note 2 : Il a été impossible de fabriquer des sacs qui présentent une résistance mécanique suffisante pour réaliser les essais.

10. OBSERVATIONS

La présente section fait état des principales observations enregistrées selon les trois grandes étapes du projet, soit : la préparation des mélanges, les performances mécaniques initiales des profilés et des pellicules ainsi que les performances mécaniques des profilés et des pellicules après un vieillissement accéléré.

Préparation des mélanges et extrusion des profilés et des pellicules

– *Oxo-biodégradables*

Les sacs traditionnels et les sacs oxo-biodégradables ont des natures chimiques similaires et des comportements thermique et rhéologique (fluidité) comparables. Une compatibilité a ainsi été observée en ce qui a trait à la préparation des mélanges.

– *Hydro-biodégradables*

La préparation des différents mélanges entre les sacs traditionnels et les sacs biodégradables a révélé de sérieux problèmes de compatibilité entre les sacs hydro-biodégradables et les sacs traditionnels. En effet, pour des mélanges dont la concentration en sacs hydro-biodégradables est supérieure à 25 %, il a été nécessaire de modifier le protocole expérimental du mélange et de réajuster les deux extrudeuses lors de la production des profilés et des pellicules. Des différences de nature chimique (polyéthylène par rapport à amidon de maïs), de comportement thermique et de rhéologie sont probablement à l'origine de cette incompatibilité entre les sacs traditionnels et les sacs hydro-biodégradables.

– *Observation générale*

Par conséquent, les sacs oxo-biodégradables sont plus compatibles que les sacs hydro-biodégradables lorsqu'ils sont mélangés avec les sacs de plastique traditionnels.

Performances mécaniques initiales des profilés et des pellicules

Oxo-biodégradables

Les profilés fabriqués à partir des mélanges entre les sacs oxo-biodégradables et les sacs traditionnels ont démontré peu de changements de propriétés mécaniques en flexion. Une augmentation de la résistance à l'impact a été enregistrée lorsque les concentrations en sacs oxo-biodégradables étaient augmentées.

En ce qui concerne les pellicules, seule la tension au point de striction, mesurée lors de la réalisation des essais de traction, montre une baisse de performance avec une augmentation de la concentration en sacs oxo-biodégradables. Toutes les autres propriétés mesurées en traction, en flexibilité et en résistance à la déchirure montrent des augmentations de performance avec une augmentation de la concentration en sacs oxo-biodégradables. Plus précisément, tous les sacs fabriqués à partir des pellicules contenant des sacs oxo-biodégradables (5, 10, 25 et 50 %) ont résisté pendant plus de 100 jours au remplissage d'eau sans présenter de fuite.

Hydro-biodégradables

Des modifications significatives ont été enregistrées à partir des profilés fabriqués avec les mélanges de sacs hydro-biodégradables et de sacs traditionnels. Particulièrement, des chutes significatives de propriétés ont été observées surtout en ce qui concerne la tension maximale en flexion et le module élastique en flexion pour les mélanges entre les sacs « Eco FilmTM » et les sacs traditionnels.

En ce qui concerne les pellicules, des modifications appréciables ont été enregistrées. La chute de performance est particulièrement importante pour les essais de traction, lorsque les éprouvettes sont amenées à la rupture, pour les essais de flexibilité, mais plus particulièrement pour les essais de résistance à la déchirure. Plus précisément, les sacs fabriqués à partir des pellicules contenant plus de 10 % de sacs hydro-biodégradables « BioBag® » et les pellicules contenant plus de 25 % de sacs hydro-biodégradables « Eco FilmTM » n'ont pu résister à la déchirure lorsqu'elles ont été remplies d'eau. Seules, les pellicules contenant de faibles quantités de sacs hydro-biodégradables ont pu résister au déchirement pendant une période de 100 jours.

Performances mécaniques des profilés et des pellicules après le vieillissement accéléré

– Oxo-biodégradables

À la suite des expositions à des rayons UV dans une atmosphère chaude et humide, les profilés fabriqués à partir de mélanges de sacs oxo-biodégradables et de sacs traditionnels n'ont pas subi de modifications significatives des propriétés en flexion. Une chute significative des performances à l'impact a toutefois été observée pour des temps d'exposition supérieurs à 14 jours.

Les pellicules fabriquées à partir de mélanges de sacs oxo-biodégradables et de sacs traditionnels ont montré une baisse importante des propriétés. Les mélanges entre les sacs oxo-biodégradables « NéoSac » et les sacs traditionnels semblent particulièrement affectés par le vieillissement accéléré puisque les pellicules ont été, à toutes fins pratiques, complètement détruites après quatre jours d'exposition. La chute de performance des mélanges contenant les sacs oxo-biodégradables « EPI » était similaire à celle enregistrée sur les sacs traditionnels seuls.

– Hydro-biodégradables

Les profilés fabriqués à partir des mélanges entre les sacs hydro-biodégradables et les sacs traditionnels ne présentent pas de modifications significatives des propriétés en flexion. Par contre, une chute appréciable des performances a été observée pour la résistance à l'impact après seulement une semaine d'exposition.

Les pellicules fabriquées à partir de mélanges de sacs hydro-biodégradables et de sacs traditionnels ont présenté une baisse significative des performances, mais celle-ci est moins importante que celle observée à partir des mélanges avec les sacs oxo-biodégradables. Il faut préciser que les performances initiales de ces mélanges étaient inférieures à celles mesurées avec les mélanges de sacs oxo-biodégradables et de sacs traditionnels.

– Observation générale

Sommairement, le vieillissement accéléré des profilés pendant une période maximale de 28 jours n'a pas causé de changements importants relativement aux propriétés mécaniques sur l'ensemble des échantillons produits, incluant le témoin de sacs traditionnels. Par opposition, toutes les pellicules, incluant le témoin de sacs traditionnels, ont présenté une chute importante des propriétés après un vieillissement accéléré de 7 jours.

Les résultats ont donc démontré que l'exposition des pellicules aux rayons UV avait des conséquences nettement plus marquées que celles observées pour les profilés. Il semble que l'attaque des rayons UV et de l'humidité n'affectait que la surface des éprouvettes et n'induisait des dommages qu'à quelques micromètres de profondeur. Il apparaît donc évident que ces effets de surface auront une incidence plus importante sur des éprouvettes minces, comme des pellicules qui n'ont que quelques millièmes de pouce d'épaisseur, par rapport à des éprouvettes épaisses comme les profilés qui présentent une épaisseur supérieure à 0,25 pouce.

11. CONCLUSION

L'objectif du présent projet consistait à évaluer techniquement l'impact potentiel des sacs hydro-biodégradables (Eco Film™ et BioBag®) et oxo-biodégradables « NéoSac et EPI » sur le recyclage des sacs en plastique traditionnels. Plus spécifiquement, l'étude visait à évaluer les changements de propriétés mécaniques des profilés et des pellicules fabriqués à partir de différents mélanges de sacs hydro-biodégradables et oxo-biodégradables avec des sacs en plastique traditionnels.

À la lumière des résultats obtenus, les principales conclusions de l'étude sont les suivantes :

- Les sacs de type hydro-biodégradables étudiés (Eco Film™ et BioBag®) sont incompatibles avec la filière de recyclage des sacs en plastique traditionnels en raison des difficultés éprouvées au moment de la préparation des mélanges avec les sacs traditionnels et des difficultés rencontrées lors de l'extrusion des profilés et des pellicules.
- Lors de la préparation des mélanges et de l'extrusion des profilés et des pellicules, les mélanges faits à partir des sacs oxo-biodégradables étudiés « NéoSac et EPI » et des sacs traditionnels se sont comportés de la même façon que les sacs traditionnels seuls. Conséquemment, les sacs oxo-biodégradables étudiés sont compatibles avec la filière de recyclage des sacs en plastique traditionnels en ce qui trait uniquement à la préparation des mélanges ainsi qu'à l'extrusion des profilés et des pellicules.
- Les profilés préparés à partir des mélanges de sacs oxo-biodégradables et des sacs traditionnels se sont comportés de manière comparable au profilé témoin fabriqué à partir des sacs traditionnels seuls et ce, tant au moment de leur fabrication par extrusion qu'après le vieillissement accéléré (rayons UV, chaleur et humidité).

- Les profilés préparés à partir des mélanges de sacs hydro-biodégradables et des sacs traditionnels ont présenté une chute significative des performances initiales en flexion. Toutefois, ces profilés ne semblent pas avoir été affectés significativement par le vieillissement accéléré.
- Les performances initiales des pellicules fabriquées à partir des sacs oxo-biodégradables et des sacs traditionnels sont comparables aux pellicules faites à partir des sacs traditionnels seuls. Le vieillissement accéléré affecte les pellicules contenant les sacs oxo-biodégradables « EPI » de façon similaire aux pellicules faites à partir des sacs traditionnels seuls. Cependant, le vieillissement accéléré affecte considérablement les pellicules contenant les sacs oxo-biodégradables « NéoSac ».
- Les pellicules fabriquées à partir des sacs hydro-biodégradables et des sacs traditionnels, sans vieillissement accéléré, présentent une chute importante des performances à la déchirure avec une augmentation de la concentration en sacs hydro-biodégradables.

En somme, les deux sacs hydro-biodégradables étudiés (Eco Film™ et BioBag®) ne sont pas compatibles avec la filière de recyclage des sacs de plastique traditionnels, car de nombreux problèmes ont été observés lors de la préparation des mélanges et lors de l'extrusion des profilés et des pellicules. De plus, le mélange de ces sacs avec les sacs traditionnels induit une chute importante des performances mécaniques des pellicules, principalement en ce qui a trait à la résistance à la déchirure.

Les sacs oxo-biodégradables « NéoSac et EPI » ont présenté une excellente compatibilité avec les sacs traditionnels lors de la préparation des mélanges et lors de l'extrusion des profilés et des pellicules. Toutefois, les pellicules obtenues à partir des mélanges entre les sacs « NéoSac » et les sacs traditionnels ont présenté une dégradation rapide et considérable après seulement quelques jours de vieillissement accéléré. Ces sacs ne peuvent donc pas être considérés comme étant parfaitement compatibles avec la filière de recyclage des sacs de plastique traditionnels.

Les sacs oxo-biodégradables « EPI », quant à eux, peuvent être considérés comme étant compatibles avec la filière de recyclage des sacs de plastique traditionnels, en raison des résultats obtenus lors de la préparation des mélanges et lors de l'extrusion des profilés et des pellicules de même que des performances mécaniques initiales des profilés et des pellicules et des performances mécaniques de ceux-ci à la suite du vieillissement accéléré.

Le tableau XVI résume les principales observations et conclusions relativement aux différents types de sacs étudiés dans ce projet.

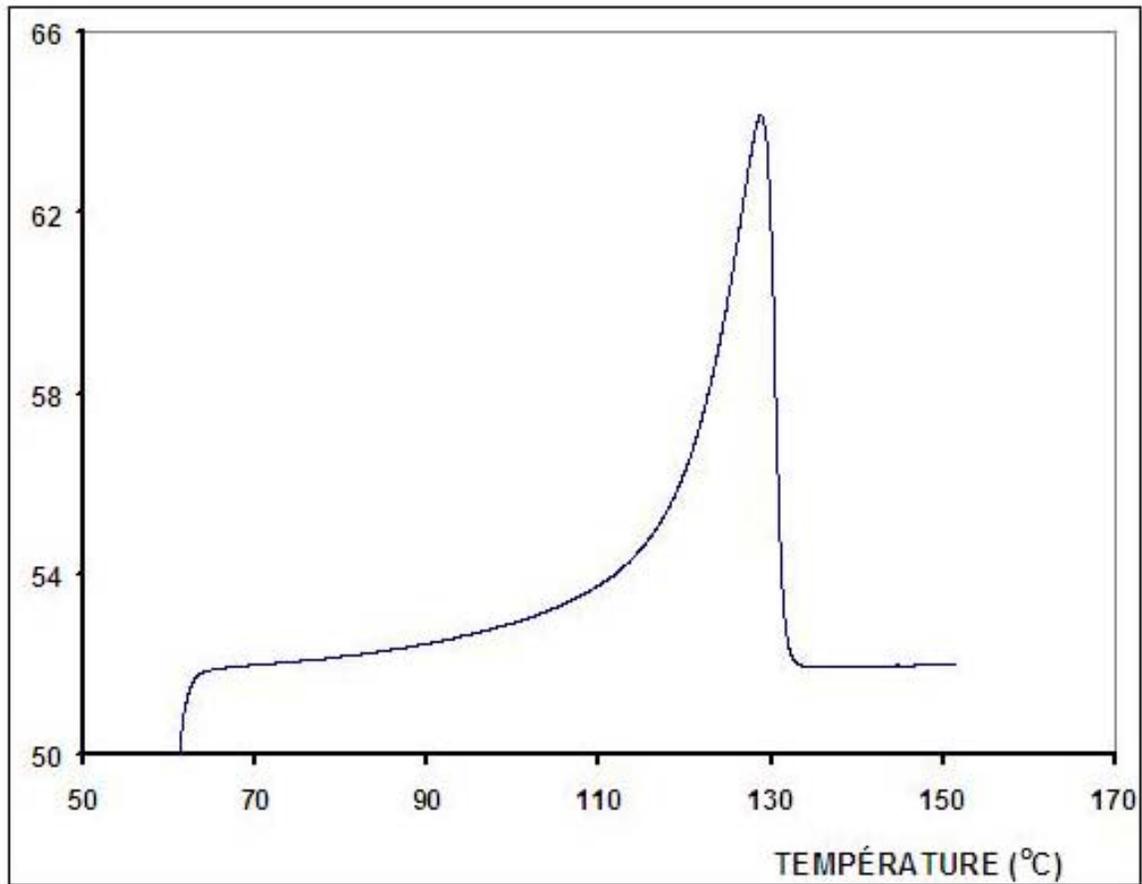
En terminant, cette étude a également permis de mettre en lumière que les sacs biodégradables n'ont pas tous le même comportement lorsqu'ils sont mélangés avec les sacs traditionnels. La nature chimique des sacs biodégradables (oxo et hydro) a une influence nettement significative sur les performances finales. Aussi, les sacs biodégradables d'une même catégorie présentent également des différences significatives, comme il a été possible de le constater en comparant les performances des mélanges des sacs oxo-biodégradables « NéoSac » et « EPI » avec les sacs traditionnels à la suite d'une exposition à des rayons UV dans une atmosphère chaude et humide.

TABLEAU XVI SYNTHÈSE DES OBSERVATIONS ET DES CONCLUSIONS

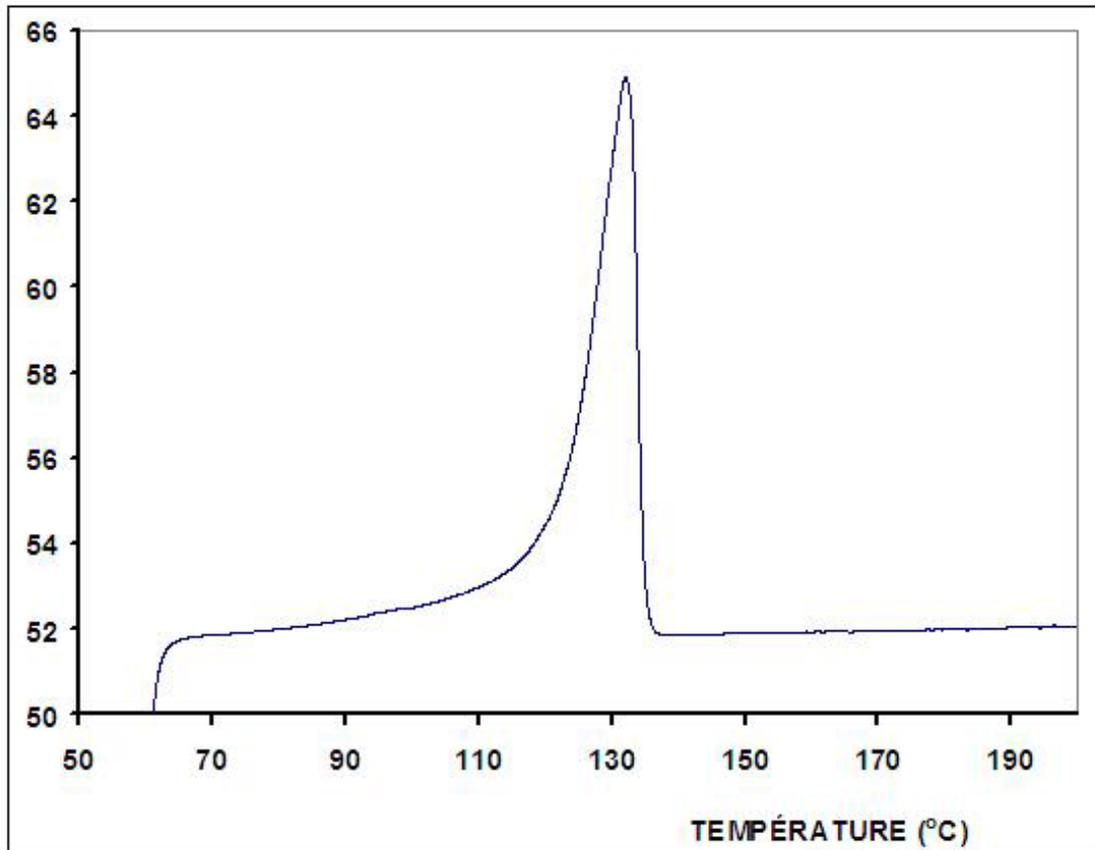
CATÉGORIE ET TYPE DE SACS	ESSAIS	COMPATIBILITÉ AU MÉLANGE ET PERFORMANCES MÉCANIQUES INITIALES	PERFORMANCES MÉCANIQUES APRÈS LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ (UV + CHALEUR + HUMIDITÉ)	COMPATIBILITÉ AVEC LE RECYCLAGE DES SACS DE PLASTIQUE TRADITIONNELS
Traditionnel (témoin) Polyéthylène haute densité	Profilé		<ul style="list-style-type: none"> Aucun changement important après un vieillissement accéléré de 28 jours. 	
	Pellicule		<ul style="list-style-type: none"> Chute importante des propriétés après un vieillissement accéléré de 7 jours. 	
Oxo-biodégradable NéoSac EPI	Mélange	<ul style="list-style-type: none"> Compatibilité avec les sacs traditionnels, en raison des natures chimiques et des comportements thermique et rhéologique comparables. 		<p>Les sacs oxo-biodégradables <u>NéoSac</u> étudiés <u>ne peuvent être considérés comme étant parfaitement compatibles</u> avec la filière de recyclage des sacs de plastique traditionnels, en raison de la dégradation rapide et considérable des pellicules à la suite du vieillissement accéléré.</p> <p>Les sacs oxo-biodégradables <u>EPI</u> étudiés sont <u>compatibles</u> avec la filière de recyclage des sacs de plastique traditionnels, tant au niveau de la préparation des mélanges, de l'extrusion, des performances mécaniques initiales et des performances mécaniques à la suite du vieillissement accéléré.</p>
	Profilé	<ul style="list-style-type: none"> Peu de changements des propriétés mécaniques en flexion; Augmentation de la résistance à l'impact avec augmentation de la concentration en sacs oxo-biodégradables. 	<ul style="list-style-type: none"> Aucune modification significative des propriétés en flexion; Chute significative des performances à l'impact pour des temps d'exposition supérieurs à 14 jours. 	
	Pellicule	<ul style="list-style-type: none"> Baisse de performance de la tension au point de striction; Augmentation des performances de traction, de flexibilité et de résistance à la déchirure avec augmentation de la concentration en sacs oxo-biodégradables. 	<p><u>NéoSac</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Pellicules affectées considérablement par le vieillissement accéléré, presque complètement détruites après 4 jours d'exposition. <p><u>EPI</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Chute de performances similaire à celle enregistrée sur les sacs traditionnels témoins. 	
Hydro-biodégradable BioBag® Eco Film™	Mélange	<ul style="list-style-type: none"> Incompatibilité avec les sacs traditionnels nécessitant une modification du protocole expérimental des mélanges et un ajustement des extrudeuses. 		<p>Les sacs hydro-biodégradables étudiés (<u>Eco Film™</u> et <u>BioBag®</u>) sont <u>incompatibles</u> avec la filière de recyclage des sacs de plastique traditionnels en raison principalement des difficultés éprouvées lors de la préparation des mélanges avec les sacs traditionnels et de l'extrusion des profilés et des pellicules.</p>
	Profilé	<ul style="list-style-type: none"> Chute significative des propriétés, surtout en ce qui concerne la tension maximale en flexion et le module élastique en flexion. 	<ul style="list-style-type: none"> Aucune modification significative des propriétés en flexion suite au vieillissement accéléré; Chute appréciable des performances pour la résistance à l'impact après seulement une semaine d'exposition. 	
	Pellicule	<ul style="list-style-type: none"> Chute importante des performances mécaniques en termes de traction, de flexibilité et surtout de résistance à la déchirure. 	<ul style="list-style-type: none"> Baisse significative des performances. 	

ANNEXE A

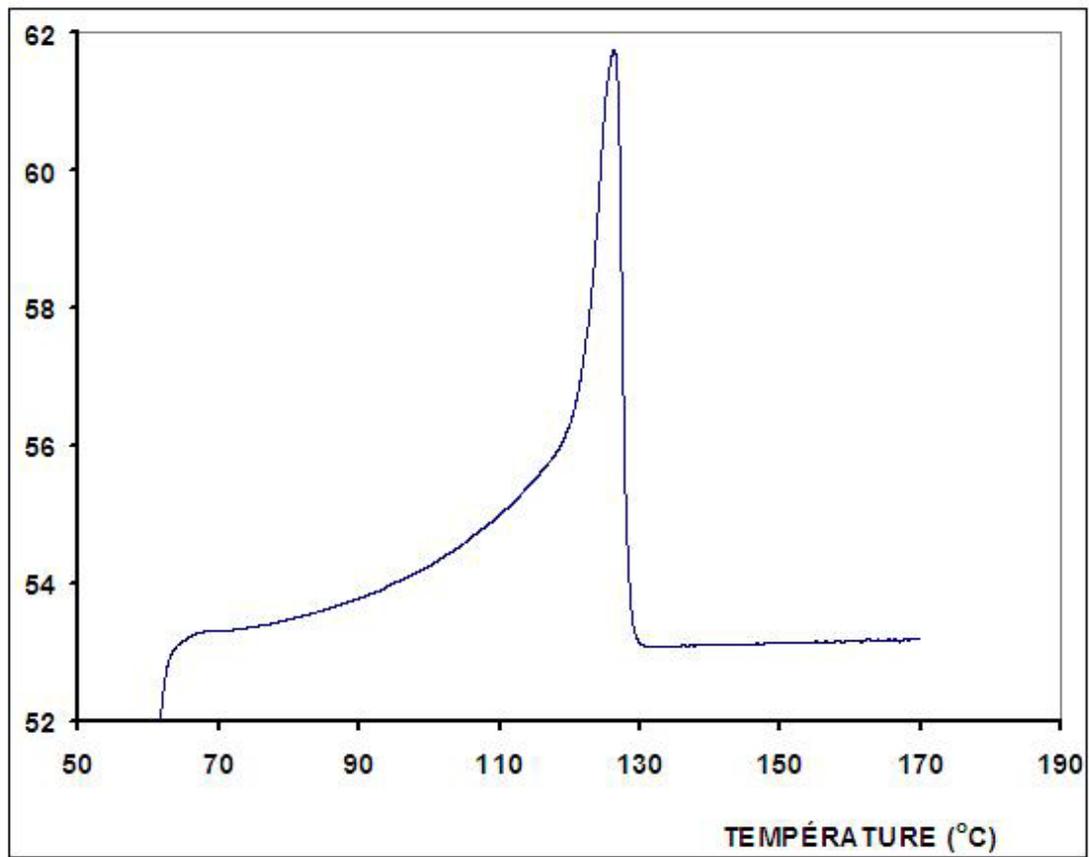
COMPORTEMENT THERMIQUE PAR « DSC » (Differential Scanning Calorimeter) DES SACS DE PLASTIQUE

COMPORTEMENT THERMIQUE PAR DSC DES SACS TRADITIONNELS

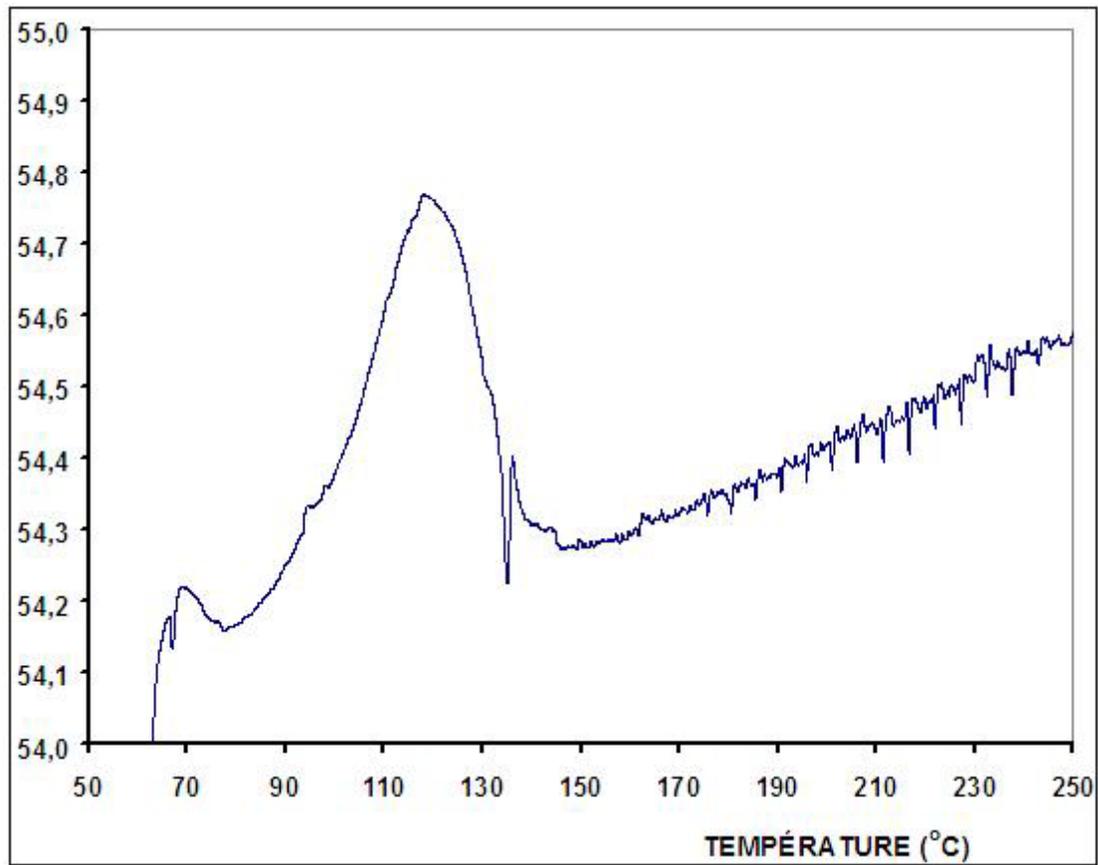
**COMPORTEMENT THERMIQUE PAR DSC
DES SACS OXO-BIODÉGRADABLES « NéoSac »**



COMPORTEMENT THERMIQUE PAR DSC DES SACS OXO-BIODÉGRADABLES « EPI »



**COMPORTEMENT THERMIQUE PAR DSC
DES SACS HYDRO-BIODÉGRADABLES « Eco Film™ »**



COMPORTEMENT THERMIQUE PAR DSC DES SACS HYDRO-BIODÉGRADABLES « BioBag® »

