

**Zeitschrift:** Ingénieurs et architectes suisses  
**Band:** 124 (1998)  
**Heft:** 24

**Artikel:** Recyclage d'emballages pharmaceutiques  
**Autor:** Leterrier, Yves  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-79416>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 06.02.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Recyclage d'emballages pharmaceutiques

Par Yves Leterrier  
Laboratoire de  
Technologie des  
Composites  
et Polymères  
EPFL,  
CH-1015 Lausanne

Le groupe pharmaceutique Pharmacia & Upjohn développe des sachets de perfusion en plastique, qui remplacent les traditionnels flacons en verre. Les arguments clés à l'origine de cette innovation, qui porte sur un marché annuel de l'ordre de cent millions d'unités, sont au nombre de trois. En premier lieu figure la souplesse d'utilisation inhérente aux matériaux plastiques, qui autorisent la diversification des modes de traitement des patients et en augmentent le confort. Ensuite, les sachets plastiques offrent une sécurité accrue, car ils s'aplatissent au fur et à mesure de la perfusion, limitant ainsi les dangers d'embolie, et ils ne se brisent pas, au contraire du verre. Enfin, dans le domaine de la protection de l'environnement, l'écobilan de l'emballage est largement en faveur du plastique, principalement en raison du gain de poids considérable par rapport au verre. Dans le cadre de sa stratégie environnementale, l'entreprise a en outre souhaité mettre en place une gestion des sachets usagés, en les recyclant dans d'autres applications, en particulier des containers destinés au transport d'articles pour les hôpitaux. Or si le recyclage du verre a d'ores et déjà fait ses preuves, il n'en va pas de même pour les plastiques et une étude a été réalisée en collaboration avec l'EPFL pour concevoir et mettre en oeuvre une stratégie de recyclage des nouveaux sachets, qui intègre les aspects design, organisation, qualité et rentabilité. Après une courte introduction au concept d'étude du cycle de vie des polymères, le présent article est consacré aux recherches menées principalement à l'EPFL pour développer une technologie de recyclage adaptée à la structure multicouches particulière des sachets de perfusion et conforme au cahier des charges pour la fabrication de containers.

## Le cycle de vie des polymères

L'étude du cycle de vie d'un matériau (*Life Cycle Engineering*) a pour but d'en contrôler et d'en adapter la durée de vie, afin d'optimiser l'utilisation des ressources naturelles. Cette approche – développée dans le cas des polymères au LTC<sup>1</sup> –, s'attache en premier lieu aux caractéristiques de durabilité et de fiabilité des matériaux étudiés; dans un second temps, elle aborde également les options de leur revalorisation en fin de vie (réparation, réutilisation ou recyclage). Les aspects fondamentaux de la durabilité des polymères étant mal connus, il est difficile pour les ingénieurs de conception d'utiliser des polymères recyclés dans des applications techniques de longue durée. Ces questions doivent toutefois être traitées dès la phase de conception, ce qui demande des outils de prédiction fiables. La séquence schématisée à la figure 1 suit l'évolution de la du-

tabilité d'un polymère au cours des différentes étapes de son cycle de vie. La première raison de la chute systématique de durabilité est la nature même des polymères. Ces matériaux organiques vieillissent et se dégradent en fonction des efforts mécaniques et des charges thermiques présents dans les différentes opérations de mise en oeuvre, et continuent de vieillir lors de leur utilisation sous l'effet

de facteurs environnementaux tels que l'humidité ou le rayonnement ultraviolet. Un autre facteur, tout aussi important, est l'assemblage du polymère avec d'autres matériaux, dans des structures multicouches par exemple, qui rend très difficile la séparation ultérieure des différents constituants en vue du recyclage par exemple.

En fin de vie, si la qualité de la matière est trop médiocre, il sera très difficile, techniquement et économiquement, de la revaloriser. A l'inverse, la connaissance des matériaux permet de comprendre et donc de contrôler leur évolution aux différentes étapes du cycle de vie. En d'autres termes, prolonger la vie des matériaux implique de maintenir leur durabilité au niveau de celle de la matière vierge telle que définie à la figure 1 tout au long de leur cycle de vie. La réussite de l'étude du cycle de vie des polymères passe ainsi par la compréhension fondamentale des mécanismes de vieillissement des matériaux polymères multiphasés, ce qui, à terme, a une influence positive sur la gestion des ressources et la minimisation des déchets.

## Durabilité et recyclage des sachets de perfusion

### Structure multicouches

La figure 2 montre la structure du sachet de perfusion, comprenant une poche interne qui contient la solution pharmaceutique et une

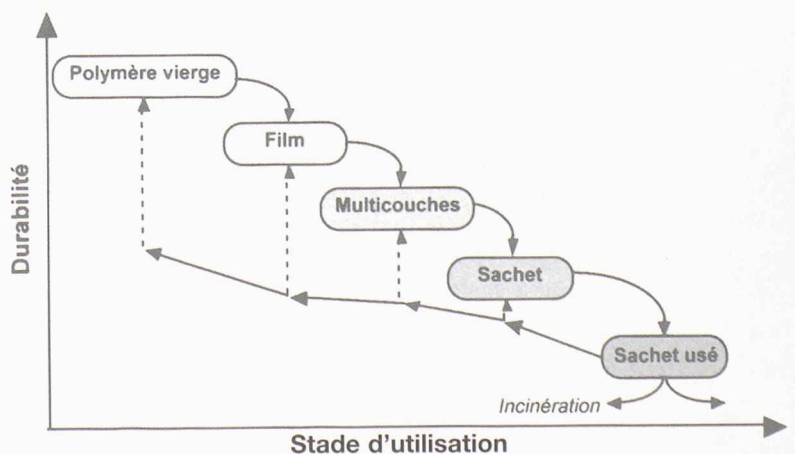


Fig. 1 – Evolution de la durabilité d'un matériau polymère au cours des différentes étapes de son cycle de vie

poche externe, utilisée exclusivement pour le stockage de longue durée de certaines solutions. Lors de la mise en place de la perfusion sur un patient, le personnel hospitalier ouvre la poche externe, qui est jetée, et seule la poche interne est utilisée. Chacune des poches est constituée de plusieurs couches individuelles assurant une fonction précise de l'emballage. Ainsi, la poche interne comporte une couche d'élastomère copolyester-éther pour permettre l'impression de données concernant le type de solution pharmaceutique, une couche copolymère tribloc adhésive en styrène-éthylène/butadiène-styrène (SEBS) et une troisième couche polypropylène (PP-SEBS), qui fait office de barrière contre l'humidité et permet la soudure de la poche. La poche externe comporte en particulier deux couches d'oxyde de silicium ( $\text{SiO}_x$ ) déposées sur un substrat de polyéthylène téréphthalate (PET) qui font barrage à l'oxygène, pour éviter l'oxydation de certaines solutions pharmaceutiques à base d'acides aminés.

#### Durabilité

Il est impératif de maintenir la fiabilité de l'emballage tout au long de sa fabrication – qui fait appel à des procédés de lamination, de soudage et de stérilisation –, ainsi que durant son utilisation. Or l'état des contraintes et la micro-

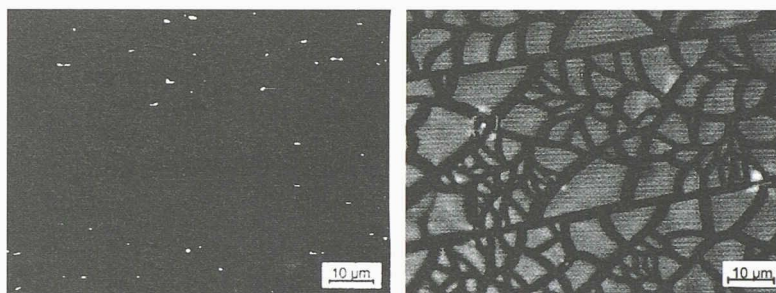


Fig. 3 – Réseaux de fissures dans la couche  $\text{SiO}_x$ , observée en microscopie optique sous contrainte uniaxiale (gauche) et équibiaxiale (droite)

structure évoluent à chacune de ces étapes, en fonction des efforts mécaniques et thermiques présents. Nous examinons ici leur effet sur les couches barrière à l'oxygène mentionnées plus haut. La fiabilité de l'emballage pharmaceutique est en effet perdue si les couches  $\text{SiO}_x$  se cassent ou se détachent du substrat polymère, les facteurs déterminants portant en l'occurrence sur la cohésion de l'oxyde et son adhésion interfaciale. L'analyse du phénomène de transfert de contraintes à l'interface entre l'oxyde et le polymère est menée en fonction de chargements thermomécaniques multiaxiaux au moyen d'essais micro-mécaniques. La figure 3 montre les réseaux de fissures caractéristiques d'états de contrainte uniaxial et équibiaxial. La modélisation des processus de fragmentation de la couche d'oxyde, liée à l'utilisation de techniques d'ana-

lyse des surfaces, telle que la spectrométrie à temps de vol (ToF-SIMS) permet en fin de compte d'optimiser le mode d'élaboration des couches barrières, et d'adapter certaines étapes du procédé de conversion de l'emballage. Signalons au passage que ce type d'étude peut concerner des applications très diverses, en particulier dans le domaine de la micro-électronique, où la fiabilité à long terme de structures multicouches utilisant des polymères reste un problème important.

#### Recyclage

Lors du recyclage, les poches externe et interne, préalablement séparées, sont broyées puis fondues dans une extrudeuse, ce qui provoque le mélange des différentes couches. Les divers types de polymères n'étant pour la plupart pas compatibles d'un point de vue thermodynamique, l'utilisation de compatibilisants est indispensable pour garantir la qualité du mélange recyclé. Ces molécules multifonctionnelles spécialisées modifient les interactions moléculaires entre les différents polymères présents dans le mélange. La synthèse de groupes fonctionnels adaptés permet de contrôler la tension de surface des matériaux, favorisant ainsi leur miscibilité et leur adhésion interfaciale. La figure 4 reproduit la microstructure du mélange obtenu après recyclage de la poche interne, observée par microscopie électronique à transmission. On distingue de petits nodules de polyester-éther d'un dia-

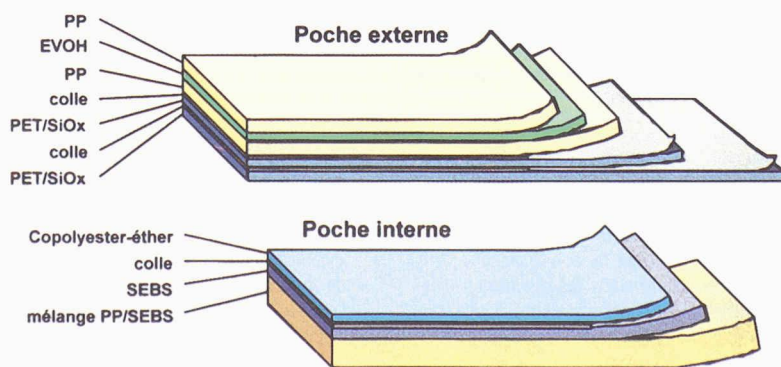


Fig. 2 – Structure multicouche des poches interne et externe constituant le sachet pharmaceutique

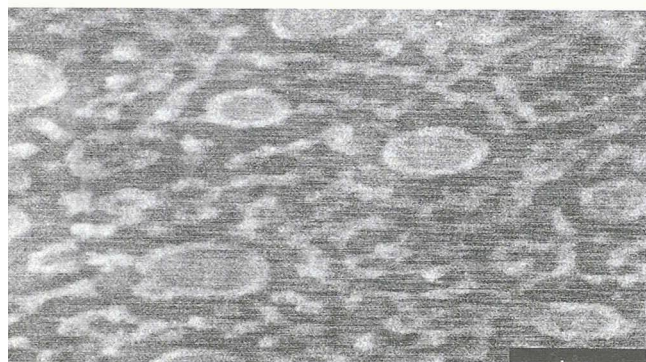


Fig. 4 – Microstructure du mélange polymère résultant du recyclage de la poche interne

mètre voisin de 1  $\mu\text{m}$ , qui constituait l'une des couches de la poche, enrobés d'une fine pellicule de compatibilisant, qui, jouant le rôle d'un surfactant (stabilisant), permet de diminuer considérablement la taille des nodules tout en les liant fortement à la matrice polypropylène-SEBS, qui formait l'essentiel des autres couches de la poche.

Afin d'augmenter la rigidité du matériau recyclé pour son utilisation dans des containers de transport, un mélange à base de polypropylène et de talc est ajouté lors du recyclage. Le talc est un minéral bon marché dont l'effet de nucléation pour la cristallisation du polypropylène augmente considérablement la performance mécanique du polymère. La figure 5 illustre le comportement à long terme du mélange recyclé incorporant 20% en poids de talc, testé par le biais d'essais calorimétriques réalisés sur des échantillons vieillis pendant 800 heures à différentes

températures. Cette technique permet de quantifier les transitions thermiques des matériaux, telle que la fusion de la fraction cristalline du polypropylène. On constate en particulier l'émergence d'une structure cristalline bimodale lors du vieillissement, qui est stabilisée avant 430 heures à 40° C. Cette structure se traduit par une augmentation sensible de la rigidité du matériau, et ne nuit donc pas à sa durabilité.

Le recyclage de la poche externe, réalisé de façon analogue à celui de la poche interne, entraîne la fragmentation de la fine couche  $\text{SiO}_x$  mentionnée plus haut. Les petites paillettes d'oxyde qui se retrouvent diluées dans la matière plastique sont des sites de concentration de contraintes et favorisent la propagation de fissures au sein du matériau recyclé, rendant ce dernier très fragile. L'analyse des mécanismes d'endommagement liés à la présence des particules d'oxyde a été réalisée dans le cadre d'une thèse EPFL. Fondée sur les processus de transfert de contraintes et de fragmentation décrits auparavant, la compréhension de tels phénomènes a conduit à la prédiction d'une taille critique en dessous de laquelle les particules augmentent la ténacité du matériau. Cette analyse a débouché sur le développement d'un traitement mécanique préalable au recyclage pour contrôler la taille des particules, afin d'obtenir finalement un plastique recyclé résistant et fiable.

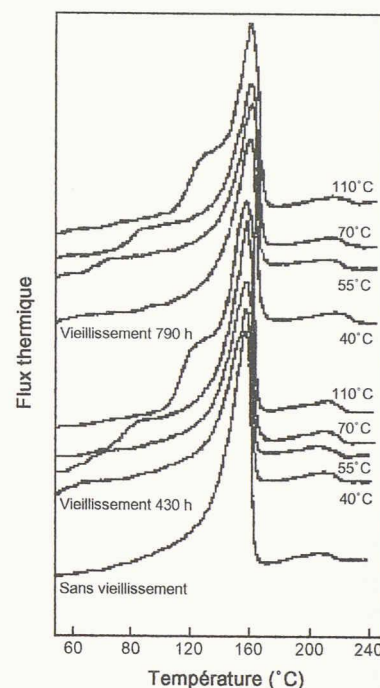


Fig. 5 – Thermogrammes de calorimétrie du composite recyclé à base de polypropylène et de talc montrant l'évolution du pic de fusion du polypropylène lors du vieillissement thermique

Il n'en reste pas moins indispensable de garantir au polymère recyclé un débouché économique attractif, une condition qui repose directement sur une fiabilité élevée de tels matériaux, c'est-à-dire sur une connaissance appropriée des facteurs déterminant leur durabilité. Si tel n'est pas le cas, les polymères recyclés ne s'avèrent en effet concurrentiels face à d'autres matières vierges de qualité inférieure (et donc meilleur marché) que si leur recyclage est subventionné. L'amélioration de la logis-

#### Le laboratoire de technologie des composites et polymères, à l'EPFL

Le Laboratoire de technologie des composites et polymères (LTC) de l'EPFL s'intéresse principalement à la mise en oeuvre, par des procédés de fabrication adéquats, de polymères et composites. Ces matériaux sont recherchés dans la plupart des applications de haute technicité développées pour l'aérospatiale, le transport, la mécanique et la construction. Une utilisation accrue est en outre visible dans les domaines touchant à la qualité de la vie : loisirs, sports et santé. L'objectif de recherche global du Laboratoire de technologie des composites et polymères est le développement de la prochaine génération de *matériaux, de processus et d'applications* pour les polymères et composites. Le laboratoire s'attache à re-

chercher des solutions à coûts modérés, des possibilités de mise à l'échelle pour les applications industrielles, et des méthodes respectant l'environnement. Les travaux du laboratoire s'orientent selon sept axes :

- adaptation de nouveaux polymères et composites aux problématiques industrielles
- techniques de mise en oeuvre à coût réduit
- jointure et assemblage de matériaux
- modélisation et simulation de procédés
- application et développement de procédés
- durabilité et prédiction du cycle de vie
- mise à l'échelle et développement de lignes pilotes.

tique de revalorisation par la collecte de plus grandes quantités de déchets plastiques permet, en règle générale, de diminuer le coût global du recyclage. Toutefois, garantir la qualité et la fiabilité du polymère recyclé demeure une condition nécessaire pour atteindre des applications de haute valeur ajoutée. Or les recherches évoquées ici montrent précisément que la démarche d'étude du cycle de vie permet d'augmenter et de « piloter » la durabilité de polymères grâce au contrôle de leur microstructure.

### Références bibliographiques

- LETERRIER Y., GREGORY A., JANNERFELDT G., MÅNSON J.-A. E., JEPSSON R., MATTSON B.: « Life cycle engineering and recycling of pharmaceutical packaging materials », Proc. PDA 4<sup>th</sup> Annual International Conference, « Contemporary Aspects of Pharmaceutical Processing, Quality, and Delivery », Vienne 1996, pp.79-86
- ZÜST R., CADUFF G. AND FREI M., eds.: « Eco-Performance'96 », Proc. Third International Seminar on Life Cycle Engineering, Verlag Industrielle Organisation, Zurich 1996
- LETERRIER Y., BOUGH L., ANDERSONS J., MÅNSON J.-A. E.: « Adhesion of silicon oxide layers on poly(ethylene terephthalate), I: effect of substrate properties on coating's fragmentation kinetics », *J. Polym. Sci. B: Polym. Phys.*, 35, 1997, pp. 1449-1461
- WYSER Y., LETERRIER Y., MASPERO F., MÅNSON J.-A. E.: « Life cycle of multilayer polymer films for packaging applications », Proc. R'97, ed. Barrage A. and Edelmann X., EMPA, Dübendorf, 1997, p. II-149
- LETERRIER Y., WYSER Y., MÅNSON J.-A. E.: « Durability in the life-cycle of polymer composites », Proc. DURACOSYS'97, Blacksburg, VA, 1997 (article soumis au *J. Appl. Polym. Sci*)
- WYSER Y.: « Life cycle influences on the durability of multilayer polymer composites », thèse EPFL N° 1750, 1997

### Autre exemple de compétences: le laboratoire « Emballage et Conditionnement » à l'eivd

Le Laboratoire d'emballage et conditionnement, créé dans le cadre de l'esig + (Ecole suisse d'ingénieurs des industries graphiques et de l'emballage) offre des prestations aux entreprises depuis 1991 déjà. Avec la cantonalisation de cette dernière école, ce laboratoire a déménagé de Lausanne à Yverdon, et est devenu membre de l'Ecole d'ingénieurs du canton de Vaud (eivd). Actuellement les collaborateurs du laboratoire poursuivent leurs recherches sur les emballages et offrent diverses prestations en :

- mesures de propriétés physiques et mécaniques de matériaux d'emballages et d'emballages,
- mesures de diffusion de gaz et de vapeurs au travers d'emballages,
- identification et caractérisation de matériaux d'emballage, analyse structurale,
- qualification et quantification de solvants résiduels d'impression d'emballage,
- évaluation de propriétés d'emballages (manutention, stockage, etc.),
- développement de nouveaux emballages et amélioration d'emballages existants,
- optimisation d'unités de conditionnement,
- interactions produit - emballage,
- mesures qualitatives et quantitatives par chromatographie en phase gazeuse à espace de tête (*Headspace GC*).

Les projets sont principalement réalisés avec les secteurs agro-alimentaire (46 % du chiffre d'affaires en 1997), pharmaceutique et médical.

#### Recherche appliquée et développement

Le Laboratoire « Emballage et Conditionnement » désire dans le futur orienter ses activités de recherche et développement selon deux axes :

- l'inertie des emballages, exprimée par les phénomènes de migration de composants depuis les constituants de l'emballage vers le produit conditionné ;
- les perméations de composés volatils et aromatiques au travers du matériau d'emballage.

Ces recherches s'effectuent dans un cadre pluridisciplinaire et suisse romand, celui du centre de compétences en « Ressources alimentaires et Technologies environnementales et chimiques<sup>1</sup> » (Real Tech) récemment mis sur pied. Il réunit plusieurs écoles afin de grouper les compétences tant dans le do-

main de l'agro-alimentaire, de la chimie, de la biochimie que de l'environnement. On y trouve les instituts suivants :

- l'Ecole de Changins, pour l'oenologie et la viticulture
- l'Ecole de Lullier, pour l'agrotechnologie, la nature et l'environnement
- l'Ecole d'ingénieurs du canton de Vaud, pour l'emballage et les interactions produits-emballage
- l'Ecole d'ingénieurs du Valais, pour la qualité, la sécurité, les produits alimentaires et la chimie
- l'Ecole d'ingénieurs de Fribourg, pour la chimie industrielle et computationnelle
- l'Ecole d'ingénieurs de Genève, pour l'environnement et le développement de procédés.

Des cours post-diplôme sont également offerts sur l'emballage des denrées alimentaires, en collaboration avec l'Ecole d'ingénieurs du Valais (EIV).

Pour tous renseignements: Didier Louvier, prof., Olivia Wahlen, ing. de développement.

<sup>1</sup> Ce centre est membre de la HES-SO (Haute Ecole Spécialisée de Suisse Occidentale)



Dispositif Oxtran pour la mesure de la perméabilité à l'oxygène de films d'emballage et d'emballages complets