



## Matériaux polymères biodégradables et applications

### Note de Synthèse II

#### 1. Contexte

L'extraordinaire développement des matières plastiques, qui ont envahi notre univers quotidien dans des domaines aussi variés que l'emballage, le bâtiment, le transport, les équipements électriques et électroniques, l'ameublement et la décoration, le loisir, etc s'explique par les multiples qualités de ces matériaux, parmi lesquelles l'hydrophobicité, l'inertie biologique, la faible densité, la déformabilité et la résistance mécanique. Mais sans doute sont-ce l'absence de restriction de formes, à travers le développement d'une industrie de la plasturgie performante, et les coûts de matière première plastique de base limités (1 à 2 euros/kg), qui ont permis cet essor.

Cependant, plusieurs décennies d'exploitation intensive pour des usages courants se sont traduites par l'accumulation de plastique dans notre environnement, source de nuisance visuelle, d'encombrement des décharges et de pollution des sols et des milieux maritimes. La prise de conscience par nos sociétés industrialisées de cette pollution à long terme, la durée de vie d'un sac plastique abandonné en sol étant estimée à 200 ans, et des coûts que pourraient représenter à terme le retraitement de tous les déchets plastiques, ont conduit à la mise en place de cadres législatifs contraignants visant à terme à intégrer les coûts de retraitement aux coûts de fabrication.

Par ailleurs, le retraitement des matières plastiques synthétiques n'est pas sans poser de problèmes. En effet, le « recyclage » par combustion pour la production d'énergie se heurte à la nécessité du retraitement des fumées, en particulier pour les plastiques contenant des halogènes ou du soufre, et à la réduction des émissions de dioxyde de carbone issu de matières carbonées fossiles. Le recyclage pour la fabrication de nouveaux matériaux se heurte quant à lui aux problèmes du tri et du nettoyage des matières rejetées. D'une manière générale, ce qui peut accélérer la recherche d'alternatives à ces matériaux, c'est l'interdiction de certains de ces polymères. Ainsi, l'usage du PVC est désormais interdit en Hollande dans les serres horticoles. En France il a totalement disparu dans la fabrication des bouteilles d'eau minérale au profit du PET.

Une alternative serait de minimiser les quantités de matières plastiques non dégradables par des substituts biodégradables et éco-compatibles, dont les chaînes carbonées, si elles sont issues de



matières renouvelables, font partie du cycle naturel du carbone, et donc recyclables par compostage ou par combustion. De nombreux travaux de recherche se sont développés dans ce sens ces dernières années, soutenus en France par le programme AGRICE ( Agriculture pour la Chimie et l'Energie).

## 2. Les matériaux polymères biodégradables

Ces matériaux sont obtenus à partir de polymères biodégradables. Un polymère est un enchaînement de motifs simples appelés monomères qui peuvent être identiques ou non. Le nombre de motifs monomères constituant la macromolécule est appelé degré de polymérisation (dp). Les polymères sont en général polymoléculaires, c'est à dire qu'ils sont composés de mélanges de molécules de tailles différentes, donc de dp différents.

Les matériaux biodégradables sont des matériaux qui sont aptes à subir un processus de décomposition sous forme de dioxyde de carbone, de méthane, d'eau, de composés non organiques ou de biomasse, le tout sous l'action enzymatique des micro-organismes. La biodégradabilité d'un matériau se définit, alors, comme la capacité intrinsèque du matériau à être dégradé par une attaque microbienne, pour simplifier progressivement sa structure et finalement se convertir en  $CO_2$ ,  $H_2O$  et/ou  $CH_4$  et une nouvelle biomasse.

Différentes sources de polymères peuvent être utilisées pour produire de tels matériaux. Ainsi, selon l'origine des matières premières et des voies de synthèse, on distingue deux possibilités de production des matériaux biodégradables : la voie des polymères biodégradables issus de l'industrie pétrochimique et celle des polymères biodégradables issus de ressources renouvelables.

Pour la suite du texte, nous utiliserons le terme générique « matériau biodégradable »

### 2.1 Matériaux biodégradables issus de la pétrochimie :

Les premiers développements de ces matériaux datent du début des années 70. Il s'agissait de développer des matériaux polymères combinant les bonnes propriétés d'usage des matériaux polymères conventionnels et la propriété d'être dégradés par les micro-organismes.

Ainsi, on classe dans cette catégorie, les matériaux « dégradables » obtenus à partir de l'association de polymères traditionnels d'origine pétrochimique tel que le polyéthylène avec un composé naturel biodégradable qui peut être de l'amidon ou de la cellulose. Le polyéthylène constitue la matrice de l'ensemble et l'amidon (environ 10%) est dispersé au sein de la structure. Des pro-dégradants (catalyseurs) pouvaient être ajoutés (moins de 1% en poids) pour provoquer la rupture chimique des chaînes, permettant aux micro-organismes de consommer l'amidon en laissant un polymère bio fragmenté. Ce type de matériau abondamment utilisé pour fabriquer les films de paillage agricole, les sacs et les emballages est aujourd'hui très décrié.

Plus récemment une nouvelle catégorie de polymères dit oxo-biodégradable ou additivé est proposée sur le marché. Il s'agit d'un polyéthylène contenant un agent oxydant qui serait selon certains spécialistes du dithio carbamate de fer, du nickel, du manganèse ou du stéarate de nickel pour favoriser la "biodégradation". Ces spécialistes sont très circonspects vis à vis de ces matériaux car



ils ne sont pas biodégradables, mais plutôt « dégradables ». Par ailleurs, ces additifs contiendraient des métaux lourds dont on ne connaît pas actuellement les effets sur l'environnement. Les dithio carbamates sont aussi très toxiques même s'ils ne contiennent pas de métaux lourds. Ces substances ne répondent pas aux normes ni aux labels sur la biodégradabilité des matériaux. On les appelle généralement « matériaux fragmentables »

Une deuxième catégorie concerne les matériaux obtenus à partir de polymères biodégradables de synthèse, notamment de polymères aliphatiques tels que le polycaprolactone et polytétraméthylène succinate, de copolyesters, de polyestéramides ou de polymères vinyliques. Ces matériaux, pour la plupart, répondent aux normes sur la biodégradabilité et certains ont obtenu les labels de « biodégradables » (voir ci-dessous § 6)

Tableau 1- Les polymères (bio) dégradables d'origines pétrochimiques

Composition	Nom commercial	Fournisseur
Amidon / Polyéthylène	Ecostar	St Lawrence Starch Company, GB
Amidon / PVA	Mater-Bi, classe A	Novamont, Italie
Amidon / PCL	Mater-Bi, classe 2 et V	Novamont, Italie
Amidon / PCL	Biofilm	Biotec , Grande Bretagne
Amidon / PP	Novo	Novon International, Chine
Amidon/copolyester	Fiberplast, Biofilm	Ulice-Limagrain (France)
Polycaprolactone	Tone	Union carbide, USA
Polycaprolactone	CAPA	Solvay, Belgique
Polycaprolactone	Cal-green	Daicel Chemical, Japon
Polybutylène succinate	Bionolle	Showa High Polymer, Japon
Polyester amide	BAK	Bayer, Allemagne
Copolyester	Ecoflex	BASF Allemagne
Copolyester	Eastarbio	Eastman Chemical, USA
Copolyester	Skygreen	Sunnkyong, Corée
PET modifié	Biomax	Dupont, USA
Polyvinyl Alcool	Vinex	Air Products and Chemical
Polyvinyl Alcool	Aquafilm	Linpac Plastics, GB

## 2.2 Matériaux biodégradables issus des ressources renouvelables :

Ils sont formés à partir de polymères naturels ou biopolymères qui peuvent être d'origine agricole ou microbienne. En fait, les biopolymères désignent plus largement des substances synthétisées par des processus biologiques ou par voie chimique à partir de monomères naturels ou identiques à ceux-ci. On distingue généralement trois grandes familles de composés : des polymères naturels, les polymères d'origine bactérienne et les polymères synthétiques (en général non issus de la pétrochimie)



### 2.2.1. Les polymères naturels ou biopolymères

Ce sont des matériaux synthétisés par les êtres vivants : végétaux, animaux et micro-organismes. La famille la plus importante est celle des polysaccharides comme l'amidon dont les sources principales sont le maïs, le blé et la pomme de terre, la cellulose (papier), la lignine (bois) ou le chitosane (chitine des crustacées). Une autre famille est constituée par les protéines qui sont issus des plantes oléagineuses (colza, tournesol, soja), des protéagineux (pois, féveroles), du son des céréales (gluten du blé) ou de tissus animaux (collagène, gélatine) ou de produits animaux (caséine). Enfin, on pourrait citer les élastomères hydrocarbonés produits par les plantes (caoutchouc naturel).

### 2.2.2. Les polymères d'origine bactérienne

Ces polymères sont issus de fermentation par des bactéries (biotechnologie). Il s'agit de la fabrication « in situ » de polymère qui s'accumule dans le cytoplasme de certaines bactéries placées en condition de fermentation. Les matières premières fermentescibles sont principalement les sucres et l'amidon. Parmi ces polymères, les plus connus sont le PHB (Poly Hydroxy Butyrate), le PHV (Poly Hydroxy Valérate) et le PHBV (3 Poly Hydroxy Butyrate 3 Hydroxy Valérate). Certains les appellent semi-biosynthétiques. La synthèse de ces polymères peut également être réalisée dans la plante grâce à une modification génétique. On les appelle alors les bio-synthétiques.

### 2.2.3. Les polymères synthétiques

Obtenus également par la voie fermentaire, on les appelle polymères synthétiques ou chimio-synthétiques en raison de leur mode de fabrication. En effet, celui-ci consiste en une polycondensation (chauffage) de monomères naturels ou identiques aux naturels. Le plus connu est le PLA (Poly Acide Lactique) provenant de la polymérisation de molécules d'acide lactique. Le monomère (exclusivement l'acide lactique) nécessaire à la synthèse du PLA est obtenu par fermentation bactérienne à partir des ressources renouvelables.

Les biopolymères peuvent être mélangés entre eux (copolymères) dans le but d'améliorer les propriétés physiques et mécaniques. C'est le cas, par exemple, du produit RESOMER, commercialisé par la firme Boehringer Ingelheim, qui est un copolymère des dimères lactide (issu du PLA) et glycolide (issu de l'Acide Glycolique).

Tableau 2- Principaux polymères biodégradables issus des ressources renouvelables

Composition	Nom commercial	Fournisseur
Amidon granulaire	Ecopolym	Polychim, Italie
Amidon granulaire	Polyclean	Archer Daniels Midland, USA
Amidon granulaire	Amyplast	Amylum, Italie
Amidon de pomme de terre	Solanyl	Rodenburg, Pays-Bas
Amidon déstructuré	Ecofram	National Starch, USA
Amidon thermoplastique	Paragon	Avebe, Pays-Bas



Acétate de cellulose	Bioceta	Mazzucchelli, Italie
Acétate de cellulose	Tenite	Eastman Chemical, USA
Acétate de cellulose	Natureflex	UCB, Grande Bretagne
Acétate de cellulose	fasal	IFA, Autriche
Amidon / Acétate de cellulose	Mater-Bi, classe Y	Novamont, Italie
Amidon / Acétate de cellulose	Bioplast	Biotec , Grande Bretagne
PHBV	Biopol	Monsanto, USA (abandonné)
PLA	EcoPla devenu Natureworks	Cargill Dow, USA
PLA	Hepion	Chronopol, USA
PLA	Lacea	Mitsui Chemical, Japon
PLA	Lacty	Shimadzu, Japon
PHA (Polyhydroxyalcanoate)	Biomer	Biomer, Allemagne
Pellulane	Pullulan	Hashashibana, Japon
Chitosane	Dorou	Aicela Chemical, Japon
Chitosane	Kytex	Marine Commodities Inc., USA

### 3. Le marché des matériaux biodégradables

La production mondiale des polymères biodégradables n'a cessé de croître depuis les années 90, passant de l'échelle pilote à l'échelle industrielle. Mais cette croissance reste très en deçà du marché des matières plastiques (environ 150 millions de tonnes dans le monde). Ainsi, on est passé d'une capacité de production de 500 tonnes en 1990 à 254 000 tonnes en 2002 (soit 0,17% du marché), réparties entre les polymères biodégradables d'origine pétrochimiques (33 000 tonnes) et ceux issus de ressources renouvelables (221 000 tonnes soit 87% des polymères biodégradables). Les grands fabricants, comme BASF et CARGILL prévoient une extension de leur capacité de production qui devrait atteindre 500 000 tonnes en 2007.

Si cette croissance continue à ce rythme, la capacité globale de production des polymères biodégradables devrait atteindre 1 000 000 tonnes à l'horizon 2010. Actuellement le marché est dominé par de gros producteurs qui sont l'américain CARGILL, l'italien NOVAMONT et les allemands BASF et BIOTEC. D'autres se préparent à jouer un rôle important sur le marché, c'est le cas notamment des américains DUPONT et PROCTER and GAMBLE, du hollandais EASTMAN ou de l'anglais UCB. Il est important de souligner que la tendance générale du marché est l'utilisation des ressources renouvelables et d'en vendre le concept.

En ce qui concerne la consommation des polymères biodégradables, elle a été de 30 000 tonnes en 2001 dans l'union européenne, fortement soutenue par le leader européen NOVAMONT. Elle serait actuellement d'environ 70 000 tonnes dans le monde. On note d'une manière générale, un décalage de 2 ans de la consommation par rapport aux capacités de production.



Tableau 3. Evolution de la capacité de production des polymères biodégradables (en tonnes)

Année \ Nature	1990	1995	2000	2002	2005-2007
Polymères d'origine pétrochimique	100	5 000	23 000	33 000	75 000
Polymères issus des ressources renouvelables	350	13 200	26 000	221 000	420 000
<b>TOTAL</b>	<b>450</b>	<b>18 200</b>	<b>44 000</b>	<b>254 000</b>	<b>495 000</b>

Source : IBAW (International Biodegradable Polymers Association and Working Groups)

#### 4. Les domaines d'applications

Bien que leur utilité et leurs performances soient plus limitées que celles des polymères conventionnels, les polymères biodégradables commencent à pénétrer avec succès certains marchés de niche, voire de masse. Les facteurs clés de ce succès résident dans le fait que les procédés de transformation de ces nouveaux polymères sont semblables dans de nombreuses mises en œuvre aux procédés traditionnels. Par ailleurs, certains produits répondent déjà aux performances techniques attendues. Les secteurs visés concernent particulièrement les objets à usage unique, à courte et moyenne durée de vie. On y retrouve notamment :

- **les sacs de collecte** des déchets verts et déchets organiques. Ce sont des produits fabriqués à partir de mélange d'amidon et de polymères synthétiques biodégradables. C'est le cas, en particulier, des sacs Mater-Bi commercialisés par NOVAMONT, un des leaders sur le marché européen. Ces sacs sont expérimentés dans plus de 500 communes européennes pour la collecte des déchets fermentescibles. En France, ces sacs commencent à être distribués par les grands enseignes (AUCHAN, INTERMARCHE...). On peut également citer la grande opération concernant les sacs à sapin 100% biodégradables et 100% compostables, lancée par Handicap International en partenariat avec ULICE (Groupe LIMAGRAIN) fabricant de la résine et ARRDI transformateur de la résine.



- **les sacs réutilisables.** C'est un marché potentiel important sur lequel se positionnent tous les leaders du secteur des biodégradables. Ces produits ont déjà fait leur apparition dans les pays d'Europe du Nord où il existe des labels pour matériaux biodégradables. En France, la récente loi sur l'interdiction des sacs de sortie de caisse et la préconisation des sacs réutilisables commencent à doper le marché des sacs biodégradables et réutilisables.
- **Les emballages industriels** dominés par les produits de calage qui constituent également un des débouchés importants des polymères biodégradables notamment aux Etats Unis et en Allemagne. Le produit réalisé essentiellement avec de l'amidon extrudé ou formé, se présente sous forme de chips et autres blocs destinés à l'absorption des chocs. En France, la société AGRIPACK est un des leaders, avec un produit 100% amidon de maïs. On trouve aussi dans ce segment de marché, les films pour le suremballage.
- **l'emballage ménager et la restauration.** C'est le secteur d'application le plus attrayant pour les matériaux biodégradables en raison de grands enjeux économiques mais également de recherche pour améliorer les principales caractéristiques fonctionnelles des emballages (faible barrière à la vapeur d'eau, traitement aux UV, résistance...). Le potentiel du marché concerne l'ensemble du rayon frais. Dans le domaine de l'emballage alimentaire, on trouve des produits rigides comme les barquettes destinées aux fruits et légumes (ces emballages ont l'aspect de polystyrène expansé et contiennent en général de l'amidon et de la cellulose), des pots de yaourt en PLA (momentanément retirés du marché en attendant qu'un opercule biodégradable soit mis au point), des films et filets pour fruits et légumes, des films pour sandwicherie, boulangerie, sucreries, pâtisseries...En ce qui concerne l'emballage non alimentaire, des films transparents sont proposés pour emballer les papiers toilettes, les produits de grande consommation, etc...La restauration est un secteur sur lequel se positionnent les matériaux biodégradables grâce à des produits comme les assiettes et couverts pour pique-nique et restauration rapide, voire des plateaux jetables pour la restauration aéronautique.
- **les films pour paillage agricole** et les autres produits pour l'agriculture, l'horticulture et la foresterie. Les matériaux biodégradables pourraient apporter des solutions avantageuses aux préoccupations environnementales rencontrées dans ces secteurs pour des raisons à la fois techniques (difficultés de ramassage des films des plastiques trop chargés de terre sur le champ et leur transport vers les usines de recyclage), législatives (le brûlage des films de paillage en plein champ est interdit et polluant et leur mise en décharge est en principe interdite depuis juillet 2002), agronomiques (utilisation unique sur de courtes durées) et économique (suppression de la main d'œuvre de





ramassage). Les nombreux produits proposés sont généralement composés de mélanges d'amidon et de co-polyesters biodégradables. C'est le cas en particulier des films mis sur le marché par Novamont ou ULICE (France) qui sont des mélanges amidon de céréales et de l'ecoflex de BASF. D'autres technologies sont basées sur l'association de fibres végétales et de polymères biodégradables. Dans le domaine de l'horticulture et de la foresterie des pots pour le repiquage des plantes ainsi que des mini-serres de protection des plantes en biopolymères sont proposés.

## 5. Fin de vie

La gestion des déchets des produits constitués de polymères biodégradables (emballages, sacs, films, etc) va poser de plus en plus de problèmes. Aussi, il paraît important d'anticiper le traitement des déchets qui pourraient résulter de l'arrivée massive de ces produits sur le marché.

La fin de vie des polymères biodégradables peut-elle être traitée de la même manière que celle des polymères conventionnels issus de la pétrochimie ? A priori les produits biodégradables existants peuvent s'adapter aux différentes filières de traitement des déchets (tableau 4). Toutefois, il est actuellement admis qu'il n'y a aucun intérêt à orienter ces produits en fin de vie vers les filières de décharge, d'incinération et de tri-valorisation, car leur spécificité qui est la biodégradation ne serait pas valorisée. En revanche, la filière traitement biologique semble mieux adaptée puisque le principe d'auto-destruction du produit sera exploité. Par exemple ce caractère biodégradable pourrait être valorisé de manière avantageuse dans les filières de compostage ou de méthanisation dans les cas des emballages alimentaires associés aux biodéchets ou des sacs biodégradables utilisés comme contenants pour la collecte sélective des déchets fermentescibles. Aujourd'hui, l'un des freins à ce type de valorisation réside dans la difficulté à identifier ces emballages ou ces sacs dans la mesure où toute erreur de tri peut détériorer la qualité du compost produit. Par conséquent, pour réussir une telle politique, il est nécessaire d'informer et d'éduquer le consommateur sur les avantages et les inconvénients de tels produits, sur la nécessité de séparer les fractions des déchets compostables à la source ainsi que sur sa responsabilité quant à leur dissémination dans la nature.

On peut résumer dans le tableau 4 ci-dessous, en les comparant, les principales caractéristiques des polymères biodégradables et celles des polymères synthétiques.



Tableau 4- Comparaison des caractéristiques des différents types de polymères

Composition	Polymères synthétiques	Polymères biodégradables (mélanges de polymères synthétiques et naturels)	Polymères biodégradables (polymères naturels)
Matière première	Non renouvelable	Seule une infime partie est renouvelable	Renouvelable
Exemples	Polyéthylène, polypropylène, polystyrène, etc	PE + Amidon PE + Cellulose, etc	Plastiques à base de cellulose, Plastique à base d'amidon
Biodégradabilité	Pas du tout ou très mauvaise	Seuls les polymères naturels sont attaqués par les micro-organismes.	Excellente
Photo-dégradabilité	Addition de pro-dégradants favorisant une faible attaque chimique	Addition de pro-dégradants provoque la rupture chimique des chaînes permettant l'attaque des polymères naturels par les micro-organismes.	Peut contribuer à la biodégradabilité ou l'accélérer
Prix	Très bon marché pour les produits courants	moyen	Très cher actuellement mais peut s'améliorer avec les futures capacités de production
Propriétés physiques et mécaniques	Très bonnes à très variables	variables	Bonnes et variables selon les applications
Pendant la combustion	Des polluants toxiques peuvent être produits	Des polluants toxiques peuvent être produits	Des polluants toxiques ne devraient pas être produits
Compostabilité	Nulle	Faiblement compostable	Majoritairement compostables
Dans les décharges	Stable, Possibilité de production de polluants ou d'effluents toxiques	Moins stable. Possibilité de production de polluants ou d'effluents toxiques	Instable. Des polluants et des effluents toxiques ne devraient pas être produits
Recyclage	Bon	Mauvais	Plutôt mauvais, mais peut être amélioré

Source :Slej-ka, 1999. ORBIT Events, actualisée.



## 6. Contexte normatif lié à la biodégradabilité (description plus détaillée dans le dossier « note de synthèse n° I »)

Devant l'intérêt croissant pour les polymères biodégradables et la multiplicité de produits mis sur le marché, le besoin en référentiels normatifs en matière de biodégradabilité justifie la mise en route de nombreux chantiers sur la normalisation. Ainsi, plusieurs travaux de normalisation européens et nationaux traitent de la biodégradabilité et de sa mesure sous l'angle des plastiques, de l'emballage, de la caractérisation des déchets ainsi que du point de vue de l'éco-toxicologie.

Bien qu'il existe plusieurs références normatives permettant l'évaluation de la biodégradabilité des produits liquides : normes européennes (EN), françaises (NF), internationales (ISO, OCDE), seule la norme NFEN 13 432 sert actuellement de référence pour les matériaux solides. Cette norme relative à la Directive « emballages et déchets d'emballages (94/62/CE) » spécifie les exigences et les méthodes permettant de déterminer la possibilité de compostage et de traitement en anaérobiose des emballages et des matériaux d'emballage en s'intéressant à quatre caractéristiques : la biodégradabilité, la désintégration en cours de traitement biologique, l'effet sur le processus de traitement biologique et l'effet sur la qualité du compost ainsi obtenu. Une deuxième norme la NFU 52 001 portant sur la biodégradabilité des matériaux biodégradables pour l'agriculture et l'horticulture a été publiée le 11 février 2005. Cette norme française spécifie « les exigences permettant de caractériser les produits de paillage en matériaux biodégradables, en nappe, utilisés en agriculture et en horticulture ». Par ailleurs, une nouvelle norme européenne concernant la biodégradabilité des plastiques (CEN TC 249/ WG 9) est en préparation.

Actuellement, compte tenu de la pression des producteurs de matériaux biodégradables, il apparaît de plus en plus sur le marché des marques de conformité délivrées par des organismes certificateurs privés. Les plus connues de ces marques ou labels sont pour l'Europe, OK compost (Belgique) et le label de compostabilité de l'IBAW (Allemagne) tous deux adossés à la norme européenne EN 13 432, les marques BPI (USA) et BPS (Japon) qui se réfèrent à la norme américaine ASTM de mesure de la biodégradabilité en phase liquide. Ces marques certifient que les produits sont compostables dans une installation industrielle de compostage. Enfin, il faut noter que les principaux producteurs de matériaux biodégradables ont signé une charte qui les engage à utiliser, notamment dans le secteur de l'emballage, des polymères respectueux de l'environnement et garantissant un haut niveau de biodégradabilité pour leurs produits.

## 7. Conclusion et perspectives

La demande du public en matière de matériaux renouvelables devient de plus en plus importante en raison notamment d'une plus grande sensibilisation à la protection de l'environnement. Aussi l'engouement pour les matériaux polymères ou plastiques biodégradables est-il nettement



perceptible depuis 2 à 3 ans, comme en témoignent les nombreux colloques et symposiums annuels consacrés à ce sujet ou les nombreux brevets déposés et qui rendent compte des stratégies adoptées par les firmes. Il en résulte une croissance sensible du marché des produits à base de polymères biodégradables parmi lesquels certains sont prêts ou appelés à quitter les niches commerciales pour accéder à des marchés de masse. De nouveaux secteurs se développent comme les textiles et les non-tissés depuis l'arrivée sur le marché du PLA, qui, à la différence des polymères naturels, présentent l'avantage d'être mieux maîtrisé sur le plan de sa processabilité. D'ailleurs, il faut noter que l'arrivée du PLA a servi de catalyseur à l'ensemble du marché et la mise en route de l'unité de production de 140 000 tonnes/an par CARGILL ou l'annonce de la construction d'une unité équivalente en Europe va certainement accélérer le processus. Il faut noter que les matériaux renouvelables et en particulier les bioplastiques intéressent tous les grands groupes producteurs ou de transformateurs de matière plastique. C'est ainsi qu'il s'opère depuis quelques années des stratégies d'alliance entre ces groupes, de rachat (le groupe SPHERE ex SP METAL vient d'acquérir BIOTEC) ou avec des nouveaux venus. Pour les acteurs principaux (NOVAMONT, CARGILL, BASF, DUPONT, UCB Film), la tendance est à l'augmentation des capacités de production et à la baisse des coûts de production des matériaux existants, ceci afin de réaliser des économies d'échelle.

Actuellement et d'une manière générale, de nombreuses applications se sont développées dans tous les secteurs et de nombreux moteurs guident déjà le marché des matériaux biodégradables : performance technique améliorée répondant parfaitement à certaines applications (exemple : films pour fruits et légumes), image positive des entreprises utilisant des matériaux biodégradables et performance supérieure des matériaux adaptés à la politique de fin de vie des produits (restauration rapide, sacs plastiques...). Toutefois, les performances techniques restent à améliorer pour certaines applications (certains emballages ménagers...).

Les perspectives de développement des matériaux biodégradables sont encourageantes et les spécialistes prévoient une production de près de 5 millions de tonnes par an à l'horizon 2020. Cependant pour atteindre de telles productions, il reste à lever un certain nombre de verrous :

- tout d'abord, le coût des matériaux biodégradables reste de 2 à 10 fois supérieur à celui des plastiques d'origine pétrochimiques. En effet, l'utilisation des extraits purifiés comme l'amidon, la mise en œuvre de la biotechnologie ou la formulation des compositions complexes pour de faibles tonnages renchérissent les coûts. Ces coûts peuvent être améliorés grâce à de nouvelles technologies ou à de nouveaux concepts beaucoup plus simples et intégrés de transformation directe d'une matière végétale (maïs plante entière, pulpe de betterave, tourteau de tournesol, gluten de son de blé...) en base de matériau biodégradable ou agromatériau ;
- ensuite, l'absence d'une législation internationale visant à promouvoir, voire à imposer pour certaines applications l'utilisation de matériaux biodégradables et issus de ressources renouvelables fait défaut. En effet, il est indispensable d'harmoniser les normes existantes sur la biodégradabilité et la compostabilité et d'en créer d'autres plus spécifiques. L'absence de norme harmonisée explique aussi cette absence de législation.



- enfin, l'absence de filière organisée dédiée à l'élimination et à la valorisation des déchets organiques ainsi que du manque d'information et d'éducation du consommateur ou du citoyen en ce qui concerne le tri des déchets.

## Références bibliographiques

1. Les emballages biodégradables. Développement et perspectives. Journée technique organisée par le LNE le 15 décembre 2005 . Paris
2. Des bioproduits pour les collectivités. Edition connaître et agir. ADEME. Octobre 2005.
3. Emballages plastiques biodégradables. Journée d'information organisée par Eco-Emballage le 12 octobre 2005.
4. Biodegradable polymers in agricultural applications. S. Guilbert, P. Feuilleley, H. Bewa and V. Bellon-Maurel. In Biodegradable polymers for industrial applications. Edited by Ray Smith. Woodhead publishing limited. Cambridge England. 2005
5. Bilan environnemental des filières végétales pour la chimie, les matériaux et l'énergie. Etat des connaissances : Analyse de Cycle de Vie (ACV). Octobre 2004.
6. Etude du marché des matières plastiques et positionnement des matériaux biodégradables. Etude ADEME réalisée par ERNST and YOUNG. Juillet 2003.
7. Ce plastique faussement biodégradable. La Recherche. N°374. Pages 52-53. Avril 2004.
8. Actes du colloque international « Produits biodégradables et environnement. Matériaux, biolubrifiants... : les nouveaux enjeux. Colloque organisé par l'ADEME, le CEMAGREF, le COBIO et la Région Haute Normandie. 20 et 21 mai 2003 à Rouen.
9. Advanced Bioplastics. Applications - Markets - Sustainable Benefits. International Symposium. 12-13 février 2003. Nuremberg (Allemagne).
10. Obtention de nouveaux agromatériaux composites moulables à partir de pulpe de betterave. Note de synthèse. Convention ADEME. Luc Rigal. ENSIACET/INP Toulouse. Janvier 2003.
11. Biodegradable Polymers. An IBAW Publication. November 2002.
12. Les biomatériaux en agriculture. Colloque organisé à Auray les 14 et 15 juin 2001.
13. Etude de la compostabilité des matériaux à base d'amidon et de poly(acide lactique). Thèse présentée à l'université de Reims Champagne Ardenne. Richard Gattin. 5 janvier 2001
14. ORBIT special events. Proceedings of the international conference on " Biodegradable polymers : production, marketing, utilization and residue management". September 4-5, 2000. Wolfsburg, Federal Republic of Germany.
15. Les matériaux biodégradables en cultures légumières et en horticulture. Journée technique Hormatec. 27 janvier 2000.
16. Interbiopacking invente l'emballage biodégradable. Entreprises & Marchés. Décembre 1999 - janvier 2000.
17. Les biomatériaux détrôneront-ils les plastiques. - Un label européen de biodégradabilité ? - La bataille des brevets a commencé. Biofutur 193. Octobre 1999.
18. Rapport final de l'étude bibliographique sur les agro-matériaux. Convention ADEME. Jordi Reguant et Marguerite Rinaudo. 31 mai 1999.
19. Actes du colloque « Les journées internationales de l'emballage ». Reims, mars 1999.



20. Catalogue Nature et Découvertes. Mars 1999.
21. Biodegradable resins gather momentum for mainstream use. *Plastiscope*. January 1999. 31, 32.
22. Certification, application and waste management options for biodegradable polymers: the latest experiences from the emerging German market. Jöran Reske, Johannes Schroeter, IBAW (Interessengemeinschaft biologisch abbaubare Werkstoffe), décembre 1998
23. Etude d'évaluation de l'offre en biomatériaux utilisables en emballage primaire. Philippe SCHIESSER, Branche Produits Frais et Direction Scientifique. Groupe Danone, décembre 1998.
24. De curieuses usines à plastique. *Biofutur* N°184. Décembre 1998. 84, 86.
25. Matériaux biodégradables : l'élimination intégrée. *Emballage Digest*. Novembre 1998. 96 - 100.
26. Les déchets plastiques utilisés comme compost. *Caoutchoucs & Plastiques* N° 772. Novembre 1998.
27. Le « come back » des plastiques biodégradables. *L'usine Nouvelle Hors série* N° 71. Novembre 1998.
28. Le plastique biodégradable. Un nouveau filon pour les plasturgistes ? *Recyclage Récupération* N°37. 16 Octobre 1998. 18 - 22.
29. Des plastiques à base de végétaux. *La France Agricole*. 18 Septembre 1998. 35.
30. Betting big on biopolymers. *Chemical Engineering*. July 1998. 43 - 47.
31. Evaluation objective de la biodégradabilité des matériaux polymères : mise au point d'une méthode et d'un dispositif instrumental. Anne DECRIAUD-CALMON. Thèse soutenue le 9 juillet 1998 à l'Institut National Polytechnique de Toulouse. N° d'ordre : 1439.
32. Breaking into the big time. *Biodegradables : Ready to take off*. *Chemical Week*, June N° 10. 1998. 24 - 27.
33. Plastiques biodégradables : quel avenir ? *Packaging international*, juin 1998
34. Wir werden alle Produkte in Bio-Kunststoff verpacken. Danone. *Öko-Test*, avril 1998.
35. Les avancées des plastiques biodégradables. *L'usine Nouvelle*, avril 1998.
36. Valorisation biologique : à quelle norme vouer le compost ? *Environnement et Techniques*, mars 1998.
37. Les plastiques se biodégradent enfin. *L'environnement Magazine*. *Techniques*. N° 1566. Avril 1998. 54, 55.
38. Polymères naturels d'origine agricole : la nouvelle révolution du plastique. *Hexagone Environnement*. N° 20. Mars-Avril 1998. 8 - 12.
39. Polymères naturels. Des matériaux biodégradables d'origine agricole. *Instantanés Techniques*. Mars 1998. 13, 14.
40. Gestion biologique des déchets : les atouts du compostage vert. *La lettre de l'ADEME*. Dossier n° 8, mars 1998.
41. Les plastiques biodégradables au Japon, recherche et production. Rapport de l'Ambassade de France au Japon au Ministère des Affaires Etrangères. Mars 1998. 30 pages.
42. Biodegradable polymers by Gregory Bohmann with Naoko Takei. *CEH Marketing Research Report*. *Chemical Economics Handbook*. SRI International. 1998.
43. This plastic is similar to LDPE, except that it's biodegradable. *Chemical Engineering*. December 1997. 27.
44. Compostage, traitements biologiques : la voie à réexplorer. *Recyclage Magazine*, août-septembre 1997.



45. Rapport d'activité AGRICE 1994-1997.

46. A new kind of plastic plant : a tree ! Chemical Engineering. January 1997. 23.

## ANNEXE

### Quelques définitions

#### Biopolymères

Ce sont les polymères naturels issus des ressources renouvelables de plantes ou d'animaux. Ces polymères sont regroupés en trois familles principales : les polysaccharides (amidon, cellulose, chitosane, pullulane), les protéines (collagène, gélatine, caséine...) et les lignines.

#### Biomatériaux

Ce terme est utilisé de manière générique pour désigner les matériaux d'origine biologique, les matériaux compatibles avec des fonctions biologiques d'animaux supérieurs et les matériaux remplissant des fonctions mécaniques (emballage) ou barrière (sécurité alimentaire), conçus à partir de biopolymères ou de polymères biodégradables (issus des ressources renouvelables ou dérivés du pétrole). Ces matériaux sont à l'origine utilisés dans les domaines du biomédical (chirurgie, ingénierie tissulaire) et de la pharmacologie.

#### Bioplastiques

Traduction du mot anglais bioplastics qui désigne les plastiques d'origine biologique. Ce terme est l'équivalent du mot biomatériaux.

#### Agromatériaux

Un agromatériau est un matériau composé majoritairement de matières premières d'origine agricole dont les produits générés au cours de la dégradation, combustion ou recyclage ne provoquent pas de dommage à l'environnement. S'il contient un liant, celui-ci pourra être d'origine agricole ou synthétique dès lors qu'il ne pose pas de problème d'écotoxicité. Il doit être également compostable, incinérable.

#### Matériaux biodégradables

Selon la définition de l'ASTM, est dit biodégradable un matériau apte à subir un processus de décomposition sous forme de dioxyde de carbone, de méthane, d'eau, de composés non organiques ou de biomasse, le mécanisme fondamental de ce processus reposant sur l'action enzymatique des micro-organismes, laquelle peut être mesurée au moyen de tests standards, à un moment donné, afin de déterminer les possibilités réelles de destruction du produit. Des définitions similaires sont proposées par le CEN et l'ISO

#### La biodégradabilité



La biodégradabilité d'un matériau peut être définie comme la capacité intrinsèque d'un matériau à être dégradé par une attaque microbienne, pour simplifier progressivement sa structure et finalement se convertir en CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O et/ou CH<sub>4</sub> et une nouvelle biomasse.

### Les principaux producteurs de matériaux biodégradables en France

SOCIETE	COORDONNEES
SPHERE (BIOTEC)	3, Rue Scheffer 75 016 Paris
VEGEPLAST	Rue de la Menoue ZA Route de Mondavezan 31 220 Martres Tolosane
NOVAMONT	49, rue de l'Amiral Mouchez 75 013 Paris
ULICE-LIMAGRAIN	ZAC les Portes de Riom BP 173 63 204 Riom cedex
BAYER	Direction des matières plastiques BP 1340 60, rue Emile Decorpf 69 609 Villeurbanne
AHLSTROM	ZI de l'Abbaye Impasse Louis Champin 38 780 Pont-l'Evêque
DOW CARGIL Polymères	21, rue St Denis 92 100 Boulogne Billancourt



### Les principaux transformateurs de matériaux biodégradables en France

SOCIETE	COORDONNEES
ARDDI SA	La Planta 07 290 St Romain d'Ay
POLYANE	ZI Clos Marquet 44 408 Saint Chamond
Autobar Packaging	14, avenue du Maréchal Leclerc 40 140 Souston
Groupe BARBIER	La Guide BP 39 43 600 Sainte Sigolène
SPHERE	3, rue Scheffer 75 016 Paris
PALICOT SA	Route de Laval 53 410 Le Bourgneuf La Forêt
COM PLAS Packaging	592, rue de la Liberté 01 480 Jassans Riottier
AGRIPACK	Chantignac 17 240 Plassa
BAGHERRA	13, rue Saint Honoré 78 000 Versailles