

Matériaux plastiques bio-sourcés : des déchets/excédents agricoles à notre GSM

Prof. Philippe DUBOIS

Université de Mons
Centre de recherche Materia Nova
MONS

Table des matières

1. Objectifs des réalisations
2. Historique et contexte général des réalisations
3. Description des réalisations : stratégies scientifiques
4. Résultats des réalisations
5. Pourquoi ces réalisations sont candidates aux EE Awards 2010 ?

Annexe :
Court curriculum vitae (résumé en 2 pages)

1. Objectifs des réalisations

L'ensemble des travaux réalisés vise **la production de nouveaux matériaux plastiques respectueux de l'environnement** aussi bien en termes :

- de procédés de synthèse n'impliquant **aucun solvant et aucun rejet**,
- d'origine des constituants principaux issus de **ressources annuellement renouvelables et localement disponibles** pouvant concerner les excédents et déchets agricoles (blé, maïs, pomme de terre, pois verts, betterave sucrière,...),
- de mise en œuvre sous forme de **matériaux finis** tels que textiles, **boîtiers d'ordinateur**, équipements électroménagers, **téléphones portables**, équipements automobiles, emballages souples ou rigides, mousses thermoplastiques,...,
- et d'élimination/valorisation après utilisation suite à leur propriété de **biodégradabilité** intrinsèque.
- de **réduction d'émission de gaz carbonique** (responsable du réchauffement climatique) étant donné qu'il n'est plus fait appel aux ressources de carbone fossiles mais bien à la **biomasse renouvelable**.

Pour concevoir et développer de tels (bio)plastiques, l'approche scientifique suivie depuis environ une quinzaine d'années par Ph. Dubois, a consisté à faire appel à plusieurs disciplines scientifiques et l'établissement d'un réseau de collaborations internationales, dont plusieurs laboratoires belges.

De toute évidence, cette vaste étude, partant de la synthèse des monomères ('briques de construction' du matériau plastique) et des systèmes catalytiques optimisés, au *procédé breveté* de polymérisation continue par extrusion réactive et la production de différents matériaux (nano)composites par les procédés conventionnels d'extrusion, injection et soufflage, démontre l'intérêt de la recherche interdisciplinaire et de la collaboration scientifique à l'échelle (inter)nationale.

Un seul objectif était et reste visé par Ph. Dubois : la production de matériaux performants, utiles et nécessaires au fonctionnement de notre société actuelle et préservant l'environnement, l'ensemble ne pouvant être réalisé que par une approche scientifique rigoureuse impliquant nécessairement une compréhension aussi affinée que possible des aspects chimiques et physico-chimiques sous-jacents à la production de tels (bio)polymères biodégradables.

Après une introduction générale précisant le contexte de ces recherches, seront discutées les différentes étapes de la stratégie scientifique suivie dans la conception, le développement et la caractérisation des **bioplastiques biodégradables** ainsi produits.

2. Historique et contexte général des réalisations

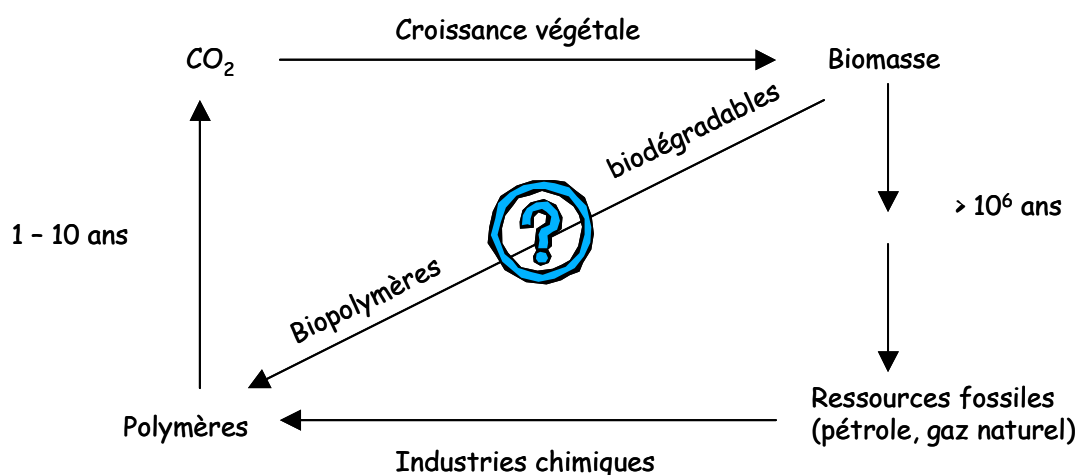
Pour apprécier l'importance des matières plastiques dans notre société, il suffit de regarder autour de soi, et d'imaginer un monde sans "plastiques" : leur absence le rendrait différent, et notre vie quotidienne en serait transformée. Les "plastiques" trouvent donc application dans tous les domaines, en passant de la conception d'un ordinateur, à la production d'une simple seringue médicale ou encore la mise au point d'un cœur artificiel. La production mondiale des polymères ("plastiques") s'élève à près de 270 millions de tonnes/an.

Les raisons d'un tel succès sont nombreuses : leur faible densité, leurs performances mécaniques (ductilité, souplesse, rigidité, ténacité,... selon les cas), leurs propriétés optiques (transparence, possibilités multiples de coloration), leurs propriétés électriques (excellent pouvoir isolant), leurs propriétés chimiques (résistance à la corrosion, aux intempéries, aux agents chimiques).

Cependant, bon nombre d'applications impliquent *un usage limité et temporaire de ces matériaux synthétiques* et par conséquent stables dans notre environnement. Conscient du problème, le monde scientifique et industriel cherche à valoriser ces matériaux, et plus particulièrement les "plastiques" d'emballage qui représentent, à eux seuls, plus de 25% de la consommation mondiale de ces matériaux de synthèse (plus de 40% en Europe !). Ainsi, le recyclage, l'incinération et la dépolymérisation sont autant de méthodes qui cherchent à valoriser ces "plastiques" après leur utilisation. Une quatrième approche vise à produire des matériaux polymères possédant la propriété de *biodégradation*. Ceux-ci sont susceptibles de se substituer aux "plastiques" conventionnellement utilisés dans le secteur de l'emballage, pour autant qu'il existe une réelle adéquation entre les conditions d'utilisation et les propriétés mécaniques de ces matériaux.

Les biopolymères constituent une bonne alternative en vue de remplacer les plastiques conventionnels par des matériaux capables de se dégrader après leur utilisation sans aboutir à une augmentation de la teneur en CO₂ atmosphérique (figure 1). Le gaz carbonique et l'eau issus de la dégradation de ces biopolymères réintègrent le cycle biologique où ils contribuent à reformer de nouvelles molécules. L'intérêt accordé à ces bioressources dites renouvelables est d'autant plus important que les réserves d'énergie fossile (pétrole et gaz naturel) s'épuisent inexorablement. Evidemment, il n'est pas question de remplacer tous les produits pétrochimiques, mais l'utilisation de produits dérivés de ressources renouvelables (déchets/excédents agricoles, bois,...) contribuera à prolonger l'existence des ressources fossiles pour les générations à venir, en accord avec le développement durable.

Figure 1. Cycle de production/élimination des matériaux polymères au départ des ressources fossiles (non renouvelables) ou végétales (renouvelables)



La quantité de biomatériaux sur le marché des polymères ne va cesser de s'accroître. Ainsi, en l'an 2000, 2 % de biomatériaux polymères ont été répertoriés. Les perspectives prévoient que ce pourcentage grimpera à 10 et 50 % en l'an 2020

et 2050, respectivement. Il est donc clair que dans un avenir plus ou moins proche, une bonne partie des matériaux à usage limité dans le temps seront obtenus au départ de biopolymères, ceux-ci présentant l'avantage d'être biodégradables et en même temps, de préserver les matières brutes fossiles.

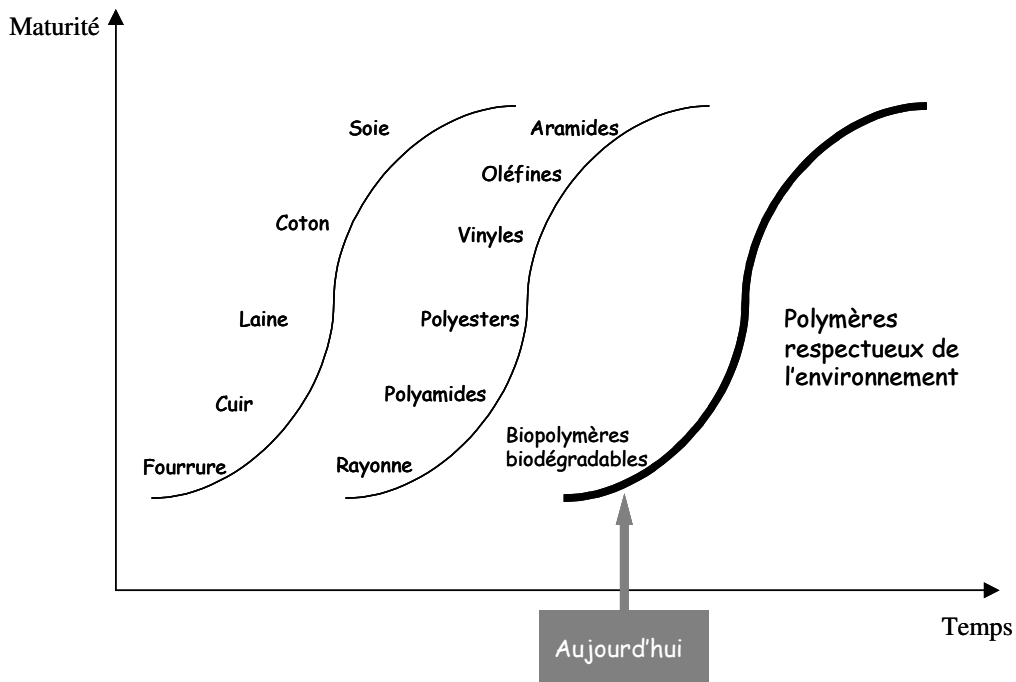
L'illustration du développement des matériaux à base de **poly(acide lactique) (PLA)** est des plus révélatrice. Ces biopolyesters biodégradables rencontrent des applications dans des domaines aussi vastes que différents tels la problématique de l'accumulation des déchets d'emballage plastique (films, récipients rigides ou souples,...) et des déchets électroniques (ordinateurs, télévisions,...). Ainsi, les emballages jetables, jusqu'il y a peu d'origine pétrochimique et essentiellement fabriqués en polyéthylène, polypropylène, polystyrène ou autre polychlorure de vinyle, sont maintenant disponibles en version végétale, soit à base de biopolymères biodégradables. Il a en effet fallu à peine plus d'une décennie pour concevoir, développer, industrialiser et commercialiser les premiers films et autres récipients rigides ou souples à base de PLA, donc de polyesters d'origine purement végétale, obtenus par fermentation de (poly)saccharides. L'application la plus souvent citée est la production de sacs poubelles biodégradables mais aussi de pots de yoghourt compostables. L'année 2002 a vu l'inauguration de la plus importante unité de production de PLA (Nature Works PLA®). Cette usine, implantée aux USA par la société Cargill Dow, a une capacité de 140.000 tonnes/an. Il ne fait nul doute qu'il s'agit d'un premier grand pas qui va susciter nombre d'émulations. Ainsi, en août 2002, dans un dossier spécial consacré à la Chimie Verte, la prestigieuse revue scientifique « Science » estimait que la production mondiale de ce même PLA devrait atteindre 3,6 millions de tonnes/an en 2020. En supposant que ce biopolymère remplace un volume équivalent de polymères d'origine pétrochimique, en plus du gain en matières premières fossiles, **il en résultera une diminution des émissions en CO₂ de l'ordre de 10 millions de tonnes par an**. Une question reste néanmoins ouverte, elle concerne la palette des propriétés (le plus souvent insuffisantes) démontrées par ces nouveaux biopolymères et leur coût de production (actuellement via des modes de production discontinue de type « batch »). Comme il le sera démontré dans la suite de ce document, c'est dans ce contexte que ce positionne l'objet des travaux de Ph. Dubois : la production *continue* (et donc à coût compétitif) de tels bioplastiques biodégradables présentant des performances mécaniques ajustées ouvrant la porte à bon nombre d'applications usuelles rencontrées dans notre société et contribuant au bien-être de chacun.

Il est par ailleurs erroné de prétendre que ces biopolymères biodégradables ne trouvent applications que dans des domaines de faible teneur ajoutée comme l'emballage. Ainsi, l'utilisation de biopolymères biodégradables pour la fabrication de boîtiers d'ordinateur ou de GSM est une réalité aujourd'hui ! En effet, la société Fijitsu Ltd annonce que leurs ordinateurs portables sont à base de ces biopolymères biodégradables (boîtiers enrichis en PLA), sans que cela n'engendre la moindre augmentation de prix.

Un voyage dans le temps nous montre que l'homme a toujours utilisé les matériaux polymères, d'abord les polymères naturels sans transformation chimique, tels la soie, le coton ou encore la laine (figure 2). Après cette longue et première génération, il a ensuite traité chimiquement ces polymères naturels comme par exemple la transformation de la cellulose en films ou fibres. Ce n'est qu'au début du 20^{ème} siècle qu'apparaît l'industrie des matières plastiques de synthèse que l'on peut considérer comme seconde génération dans le développement des matériaux « plastiques », avec l'essor qu'on lui connaît. Il semble de plus en plus évident que l'on peut parler

de l'émergence d'une *troisième génération avec le développement grandissant des matériaux polymères préservant notre environnement*. Dans ce contexte, il ne fait nul doute que les biopolymères biodégradables vont trouver une place de prédilection, l'avenir nous l'enseignera...

Figure 2. Evolution des matériaux polymères au cours du temps

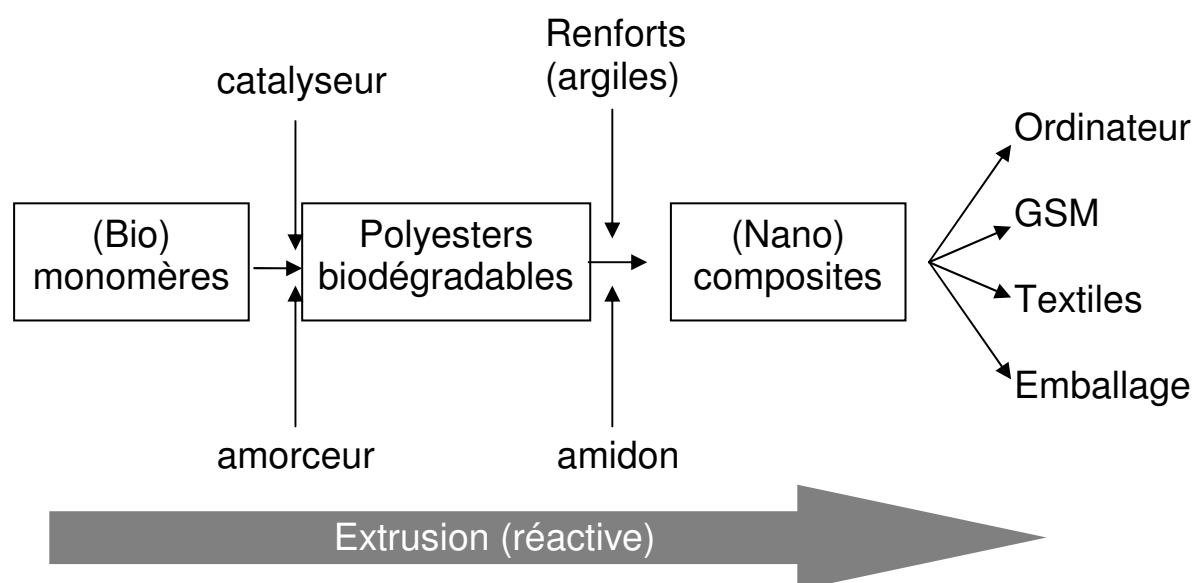


C'est dans ce contexte que s'inscrit dès lors l'objet des travaux du laboratoire du Prof. Ph. Dubois, à savoir la **production de matériaux biodégradables et bio-sourcés, c'est-à-dire trouvant origine au niveau de ressources renouvelables telles que, par exemple, les excédents agricoles ou encore les déchets de la filière bois**.

3. Description des réalisations : stratégie scientifique

La figure 3 reprend les grandes phases stratégiques permettant la production continue et le façonnage des bioplastiques biodégradables issus de ressources renouvelables annuellement et disponibles localement. Chacune de ces étapes-clés a fait l'objet d'études approfondies. De toute évidence, l'objet de ce résumé n'est pas de décrire dans le détail le contenu scientifique de ces différentes étapes (celui-ci étant disponible dans les brevets et publications dont les références sont reprises en annexe). En effet, il est important de souligner que les résultats de ces recherches ont fait l'objet de plusieurs brevets dont certains sont actuellement à l'étude de production industrielle (échelle pilote).

Figure 3. Cycle de production de matériaux biodégradables et biosourcés par procédé d'extrusion réactive.



En substance, ces différentes étapes, étudiées sur plus de 15 années de travaux universitaires en collaboration académique et industrielle, peuvent se résumer comme suit :

1. **Développement de systèmes catalytiques en synthèse de bioplastiques**
2. **Implication de l'extrusion réactive continue en production de bioplastiques**
3. **Renforcement des matériaux bioplastiques sous la forme de nanocomposites**

4. Résultats des réalisations

L'implication des (bio)polyesters aliphatiques dans le domaine des "plastiques" est aujourd'hui une réalité industrielle. L'objet des travaux présentés dans ce document s'inscrit dans cette voie. Même si cette contribution ne représente qu'une pierre à l'édifice des matériaux polymères (biodégradables) que nous serons amenés à utiliser dans les prochaines décennies, elle a certainement le mérite de mettre en lumière l'intérêt de la *collaboration scientifique interdisciplinaire*. C'est ainsi que les matériaux issus des travaux du laboratoire du Prof. Ph. Dubois et actuellement développés à un premier échelon industriel (particulièrement dans le cadre du pôle de compétitivité « agroindustrie » du plan Marshall de la Région Wallonne (projet Biowall)), ont pu voir le jour grâce à la combinaison d'expertises issues de la catalyse de coordination, la chimie macromoléculaire, la physico-chimie des polymères, l'ingénierie des polymères et composites mais également les études de biodégradation de ces matériaux. **En conclusion, cette modeste contribution se veut être une preuve que les matériaux biodégradables et biosourcés peuvent connaître et connaîtront un envol certain dans les toutes prochaines années...** Il va de soi que ces travaux ne sont pas du ressort d'un seul chercheur, comme toute recherche en fait actuellement menée dans le domaine de la science des matériaux.

Ph. Dubois est en fait parvenu à créer un laboratoire de recherche performant et dynamique (plus de 45 personnes). Il a par ailleurs mis sur pied un réseau de collaborations internationales absolument nécessaire à la conduite des tels travaux. Plus spécifiquement, c'est ainsi que depuis juillet 2003, Ph. Dubois assure la coordination d'un réseau INTERREG initialement dénommé MABIOLAC et maintenant NANOLAC et qui regroupe son laboratoire du centre de recherche Materia Nova à Mons, l'Université de Lille (Profs. R. Delobel et S. Bourbigot), l'ENSAIT à Roubaix (Prof. E. Devaux) et la société Galactic à Escanaffles en Belgique (comme partenaire industriel). Ce programme vise la « **Production de matériaux composites biodégradables à base d'acide lactique** » et est l'intégration même des différentes étapes précédemment décrites dans le cadre des réalisations de Ph. Dubois et sans nul doute, représente un excellent témoignage de la complémentarité/synergie entre plusieurs laboratoires aussi bien académiques qu'industriel.

MABIOLAC/NANOLAC couvre ainsi *la production de nouveaux matériaux composites polymères biodégradables à base d'acide lactique, brique de synthèse obtenue au départ de ressources renouvelables (voir ci-dessous).*

5. Pourquoi ces réalisations sont candidates aux EE Awards 2010 ?

Ces nouveaux plastiques biodégradables sont donc produits par une technique "verte", à savoir l'extrusion réactive excluant l'utilisation de tout solvant organique. Donc, non seulement le matériau ainsi obtenu est respectueux de l'environnement de par sa biodégradabilité intrinsèque, exploite des ressources renouvelables (annuellement et de plus disponible localement), mais la technique de production elle-même intègre des dimensions économiques et environnementales. L'acide lactique, brique de construction essentielle du matériau polymère, est obtenu par fermentation au départ de (poly)saccharides. ***Ce programme est donc en parfaite synergie avec la politique de développement durable.*** Dans NANOLAC, deux secteurs d'applications sont particulièrement visés à savoir la fabrication de fibres textiles pour l'industrie automobile d'une part et pour le secteur biomédical d'autre part. Ces applications s'intègrent parfaitement dans le dynamisme de relance de l'industrie textile, très développée dans le nord de la France et la Wallonie. De plus, des *biomatériaux composites* sont également obtenus par association du polymère d'acide lactique (PLA) à de charges inorganiques telles que des argiles naturelles. Ces argiles ont pour effet de moduler les propriétés physico-mécaniques de ces matériaux, améliorent leur *comportement au feu* (ignifugation) sans affecter leurs propriétés de biodégradation. Ainsi, ces nouveaux matériaux sont hautement susceptibles de se substituer aux polymères tels que le polyéthylène, le polypropylène ou encore les polyamides, non biodégradables et issus de la pétrochimie (ressource fossile, non renouvelable)...

Comme il l'a été mentionné dans ce résumé, le carbone utilisé pour façonner les biopolymères biodégradables n'est pas extrait du sous-sol mais bien de la biomasse (ressources agricoles renouvelables) et dès lors, le CO₂ émis par la biodégradation du matériau (ou encore par son incinération éventuelle) n'est autre que la ressource nécessaire pour produire les végétaux (via le mécanisme de la photosynthèse et la lumière solaire) qui permettront de nouveau la production cyclique de ces mêmes bioplastiques. Il n'y a donc pas d'accumulation irréversible de gaz à effet de serre !
