

A strategy to improve the performance and processing of biopolyesters, proteins and polysaccharides for use in packaging applications

Composites consist of two or more distinct constituents or phases, which when brought together achieve unique properties that would not be achievable from the individual constituents. Natural composites exist in both, the animal and plant realms. Wood is a composite. It is made from long cellulose fibres strongly held together by another substance, lignin. Cellulose is also found in cotton, but without the lignin it is much weaker. This illustrates how two rather weak substances — lignin and cellulose — together form a much stronger one. The bone in our body is a composite too. It is made from the hard, but brittle material, hydroxyapatite, and the soft and flexible material, collagen. The former is mainly calcium phosphate; the latter is a protein. On their own these materials would be rather useless in the skeleton; yet, the combined hydroxyapatite and collagen give the bones the properties required to support the body.

The first modern, manmade composite material was fibreglass. In industry it is often referred to as Glass Reinforced Plastic or GRP. It was invented in 1933 by Russel Games Slayter (1896 – 1964) and is still widely used for sports equipment, building panels and many car bodies, for example. The matrix is plastic and the reinforcement is glass, that has been made into fine threads and often woven into a sort of cloth. On its own the glass is very strong, but brittle and it breaks when bent sharply. The plastic matrix holds the glass fibres together and protects them from damage. Some innovative composites are now made using carbon fibres instead of glass. These materials are lighter and stronger than fibreglass but more expensive to produce. They are used in aircraft structures and expensive sports equipment such as golf clubs. Carbon nanotubes have also been used successfully to make new composites. These are even lighter and stronger than composites made with ordinary carbon fibres, but they are still extremely expensive.

Bioplastics are generally defined as biodegradable or biosourced materials. This means that a biodegradable petro-sourced material and a nonbiodegradable material from a renewable resource would be equally called bioplastics.

The term “biosourced” means that the material or product is derived from biomass. Accordingly, biobased materials include simple, common commodities such as leather and wood, as well as those that have undergone more extensive processing such as pectin and oleic acid. Corn, and sugarcane are often used biomasses for bioplastics. Hence, the end of life degradation does not produce more carbon dioxide than was originally needed for the plant to grow. Biodegradation is a process during which the micro-organisms available in the environment convert materials into natural reaction products such as water, carbon dioxide,

and compost. The process of biodegradation depends on the surrounding environmental conditions, on the material as well as on the application. The biodegradation properties do not depend on the resource basis of the material, however. They are linked to its chemical structure.

Some biodegradable bioplastics can break down in approximately half a year, given optimal conditions. Others are not biodegradable at all, a highly desirable property for outdoor applications e.g., where longevity may be the predominant goal.

According to Berthet et al. [2016] bioplastics, that are both biosourced and biodegradable, will be referred to as “full-bioplastics”. Full-bioplastics benefit from high yields of natural fabrication with excellent carbon and energy balances, while being completely recyclable into organic waste. Full-biocomposites are based on full-bioplastic matrices and vegetal fiber fillers.

The production of efficient as well as low-cost biodegradable and bio-sourced polymer matrices for composite materials is an important challenge of the 21st century. Agro-polymers, such as starch, some proteins, cellulose, and lignin, are directly extracted from plants. They are available at a reasonably low cost and in large quantities. However, a downside to the extensive use of agro-polymers is their intrinsic reactivity. They often exhibit lower inertia than most conventional fossil fuel-based plastics such as polyolefins, polystyrene, and many others. In general, it is essential to overcome the poor moisture barrier properties of starch materials. Commercial water-resistant bioplastics can be produced e.g. by using blends of (1) biodegradable synthetic polyesters — polycaprolactone or polybutyrate adipate terephthalate — which form the continuous phase and provide water resistance, (2) agro-polymers, and (3) compatibilizers [Fritz et al. 2003].

On the other hand, microbial polyesters such as polyhydroxyalkanoates show huge advantages, such as their excellent barrier properties, and water resistance. But they are currently available at a cost that remains rather high. Particular interest has been given to the copolymer poly(β -hydroxybutyrate/ β -hydroxyvalerate), an unbranched polymer predominantly composed of R-3-hydroxyalkanoic acid monomers ranging from 3 to 14 carbons in length with hydrogen or alkyl up to nonyl radicals [Urtuvia et al. 2014]. Some industrial companies are currently commercializing these microbial polyesters.

Nevertheless, it should be noted that almost all bio-sourced bioplastics available today are produced from noble food resources. Since the fundamental right of people to the food they need is a predominant challenge, political authorities should stimulate the development of new materials from renewable sources without competing with food usage.

There are thousands of different fibers in the world. Natural fibers include those produced by animals such as silk, and wool; by plants such as cotton, flax, and hemp; and also by geological processes such as asbestos. For food packaging applications the focus is on vegetal filler fibers: lignocellulosic fibers, which are widely available all around the world at low cost. Moreover, these materials are inherently fully biodegradable.

Lignocellulosic fibers have multiple merits. They are characterized by a low density compared to glass fibers, for example. This means that lighter composite materials are obtained. They are non-abrasive for machinery, and display high stiffness and less impact on the health of composite manufacturers. But there are some shortcomings too; they are linked to their chemical structure, as well as to their thermally sensitive and hydrophilic character. Moreover, high levels of variability in fiber properties have been related to the location and time of harvest, and to the processing conditions.

Biocomposites combine the advantages of optimized functional properties of composites with environmental friendliness of bioplastics. The generally accepted definition of biocomposites claims that at least one of the constituents should be biosourced — either the matrix or the reinforcement. Thus, as previously mentioned for bioplastics, the term “biocomposites” is often used to describe materials that are only partially environmentally friendly. Examples are fiber composites, where the main constituent or matrix, is petro-sourced and/or not biodegradable, e.g. the thermoplastics such as polypropylene, polyamide, polyethylene, polystyrene and polyvinyl chloride as well as the thermosets such as phenolics, polyesters, polyimide and polyurethane. By way of examples, Ali et al. [2013] used tapioca starch to improve the degradability of injection moulded low density polyethylene, used for disposable packaging ware (bags). Those starch based biocomposites are easily decomposed after disposal to the environment by the activity of fungi and microorganisms.

To fully benefit from all the positive aspects of full biomaterials, all constituents of a biocomposite should be biosourced and biodegradable, e.g. rubbers, modified starch, polylactide, cellulose esters and polyhydroxybutiric acid. Such biocomposites are referred to as “full-biocomposite” [Roy et al. 2014, Berthet et al. 2016]. The development of biocomposites via the incorporation of natural lignocellulosic fibers from different plant origins — such as hemp, jute, flax, ..., etc. — is the commonly proposed strategy and is gaining more and more approval day by day. Mosiewicki & Aranguren [2013] published an interesting review on the use of vegetable oils as a base-material for the production of polymer composites, incorporating inorganic and organic particles and fibers, from both synthetic and natural in origin. The ever increasing interest in vegetal oils is accompanying the general revival of materials derived from renewable resources, that resulted from both the growing need to replace fossil resources as well as the urgency of using materials with lower environmental impact. One example is particularly notable. Although rarely mentioned in literature, useful composites have been developed from soybean resins and hollow keratin fibers from chicken feathers [Wool 2005].

Research and creativity will increase the percentage of full-biocomposites maintaining good overall performance and characterized by well tailored, special properties. There is no doubt that the future will tell us that the seeds sown today will bear fruit.

References

- Ali et al. [2013]. Tapioca Starch Biocomposite for Disposable Packaging Ware, *Chemical Engineering Transactions* 32, 1711 - 1716
- Berthet et al. [2016]. Vegetal fiber-based biocomposites: Which stakes for food packaging applications? *Journal of Applied Polymer Science*, in press
- Fritz et al. [2003]. Strategies for detecting ecotoxicological effects of biodegradable polymers in agricultural applications, *Macromolecular Symposia, Special Issue: Recent Advances in Biodegradable Polymers and Plastics* 197, 1, 397 – 410
- Mosiewicki & Aranguren [2013]. A short review on novel biocomposites based on plant oil precursors, *European Polymer Journal* 49, 1243 – 1256
- Roy et al. [2014]. A Review on Bio-Composites: Fabrication, Properties and Applications, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 3, 10, 16814 - 16824
- Urtuvia et al. 2014]. Bacterial production of the biodegradable plastics polyhydroxyalkanoates, *International Journal of Biological Macromolecules* 70, 208 – 213
- Wool RP [2005]. Bio-based composites from soybean oil and chicken feathers, in bio-based polymers and composites, in Wool & Sun (eds.), *Bio-Based Polymers and Composites*, Elsevier Academic Press, Burlington (USA), 411 - 447

Een strategie ter verbetering van performantie en bewerking van biopolyesters, eiwitten en polysacchariden voor toepassing in verpakkingen

Composieten bestaan uit twee of meer bestanddelen of fasen; die worden gecombineerd om unieke eigenschappen te verwerven, die men niet kan verwerven met elk van de bestanddelen afzonderlijk. Natuurlijke composieten treft men zowel in de dieren- als in de plantenwereld aan. Hout is een composiet. Er zitten lange cellulosevezels in die worden samengehouden door een andere stof, namelijk lignine. Cellulose vindt men ook in katoen, maar zonder lignine is het veel zwakker. Dit illustreert hoe de combinatie van twee vrij zwakke substanties — lignine en cellulose — samen een sterkere substantie vormen. De beenderen van ons lichaam zijn ook composieten. Ze bestaan uit een hard, maar broos materiaal, het hydroxyapatiet, en een zacht, buigzaam materiaal, collageen. Het eerste is hoofdzakelijk calciumfosfaat en het tweede is een proteïne. Elk afzonderlijk zijn ze vrij nutteloos voor het skelet; maar combinaties van hydroxyapatiet en collageen bezorgen de beenderen de goede eigenschappen om het lichaam te ondersteunen.

Het eerste moderne, kunstmatige composietmateriaal was glasvezel; in de industrie wordt er vaak naar verwezen als Glass Reinforced Plastic of GRP. In 1933 werd het uitgevonden door Russel Games Slayter (1896 – 1964) en het wordt nog altijd veelvuldig gebruikt voor sportuitrusting, bouwpanelen en heel wat auto-onderdelen, bij voorbeeld. De matrix bestaat uit plastic en de versterking binnenin is glas. Het glas is op zich heel sterk, maar broos; het breekt gemakkelijk wanneer het geknikt wordt. Het plastic materiaal houdt de glasvezels samen en beschermt ze tegen breuk. Vandaag worden er ook innovatieve composieten gemaakt met koolstofvezels in de plaats van glas. Deze zijn lichter en sterker dan glasvezel, maar ze zijn duur om te produceren. Men gebruikt ze voor vliegtuigstructuren en voor dure sportuitrusting zoals golfclubs. Ook koolstofnanotubes worden met succes gebruikt voor nieuwe composieten. Die zijn nog lichter en sterker dan deze met gewone koolstofvezel, maar wel nog steeds erg duur.

Bioplastics worden meestal omschreven als biodegradeerbare materialen of materialen van biologische oorsprong. Dit betekent dat de biodegradeerbare materialen afgeleid van petroleum evenals niet-biodegradeerbare uit een hernieuwbare bron ook bioplastics kunnen genoemd worden.

Het begrip “van biologische oorsprong” betekent dat het materiaal of product afkomstig is van biomassa. Met andere woorden, zowel de gewone goederen zoals leder en hout als deze, die een uitgebreide verwerking hebben ondergaan, zoals pectine en oliezuur zitten erbij. Mais en suikerriet worden dikwijls gebruikt als biomassa voor bioplastics. De degradatie na gebruik produceert niet meer koolstofdioxide dan oorspronkelijk vereist voor de groei van de plant. Biodegradatie is een proces waarbij micro-organismen, die in de omgeving zitten, de materialen omzetten in hun natuurlijke reactieproducten zoals water, koolstofdioxide en compost. Het biodegradatieproces hangt af van de omgevingscondities, van het materiaal zelf en van de toepassing. De eigenschappen van de biodegradatie op zich hangen niet af van het bronmateriaal, maar wel van de chemische structuur.

Onder optimale condities kunnen enkele biodegradeerbare bioplastics afbreken in ongeveer een half jaar. En andere zijn helemaal niet biodegradeerbaar, een gewenste eigenschap trouwens voor buitentoepassingen, wanneer een lange levensduur de voornaamste bedoeling is.

Volgens Berthet et al. [2016] moeten bioplastics, die zijn aangemaakt uit materialen van biologische oorsprong en die tevens biodegradeerbaar zijn, “full-bioplastics” genoemd worden. Full-bioplastics profiteren van de hoge opbrengsten van een natuurlijke synthese en van uitstekende koolstof- en energiebalansen. Bovendien zijn ze volledig recycleerbaar tot organisch afval. Full biocomposieten zijn bereid uit een full bioplastic matrix en vulstoffen zoals plantaardige vezels.

Het is een belangrijke uitdaging voor de 21^e eeuw efficiënte en goedkope matrices voor composietmaterialen te produceren, die en biodegradeerbaar en van biologische oorsprong zijn. Agro-polymeren, zoals zetmeel, sommige eiwitten, cellulose en lignine zijn direct afkomstig van planten. Ze zijn vrij goedkoop en in relatief grote hoeveelheden beschikbaar. Maar hun intrinsieke reactiviteit vormt een tegenargument voor intensief gebruik. Ze zijn vaak minder inert dan de meeste kunststoffen op basis van fossiele brandstof. Om, bij voorbeeld, de poreuze vochtbarrière-eigenschappen te overwinnen worden commerciële vochtbestendige bioplastics geproduceerd met mengsels van (1) biodegradeerbare synthetische polyesters — zoals b.v. polycaprolacton of polybutyraat-adipaat-tereftalaat — die een continue fase vormen en waterbestendig zijn, (2) agro-polymeren en (3) compatibilisatoren [Fritz et al. 2003].

Er zijn ook de polyesters uit microben zoals de polyhydroxyalkanoaten; die vertonen excellente barrière-eigenschappen en waterbestendigheid. Maar ze zijn nu nog beschikbaar tegen relatief hoge prijs. Het copolymeer poly(β -hydroxybutyraat/ β -hydroxyvaleraat), een onvertakt polymeer dat vooral samengesteld is uit monomeren R-3-hydroxyalkaanzuur met 3 tot 14 koolstofatomen en waterstof of alkylgroepen tot 9 koolstofatomen [Urtuvia et al. 2014] kreeg heel wat aandacht. Enkele industriële bedrijven commercialiseren nu reeds polyesters uit microben.

Nochtans moet hier worden opgemerkt dat vandaag haast alle bioplastics uit biomassa worden geproduceerd uit nobele voedingsbronnen. Op een ogenblik waarop het fundamentele recht op noodzakelijk voedsel voor de mensen een belangrijke uitdaging betekent, zouden onze politieke overheden de ontwikkeling van nieuwe materialen uit hernieuwbare bronnen moeten stimuleren zonder in competitie te treden met het voedselgebruik.

Er zijn duizenden verschillende vezels op de wereld. Natuurlijke vezels omvatten deze die geproduceerd worden door dieren, zoals zijde en wol; en door planten, zoals katoen, vlas en hennep; en ook door geologische processen, zoals asbest. Voor toepassingen in de sector van de voedselverpakking ligt de nadruk op vulstoffen van plantaardige vezels: lignocellulosevezels, waar overal ter wereld gemakkelijk aan te geraken is en voor weinig geld. Dergelijke materialen zijn per definitie biodegradeerbaar.

Lignocellulose vezels hebben heel wat verdiensten. Ze vertonen een lage dichtheid in vergelijking met glasvezel, bij voorbeeld. Dit betekent dat lichtere composietmaterialen kunnen verkregen

worden. Ze maken geen krassen op de machines. Ze vertonen een grote stijfheid en hebben geen of weinig invloed op de gezondheid van de werklui. Maar er zijn ook een paar tekortkomingen; die hebben te maken met hun chemische structuur, met hun warmtegevoeligheid en hun hydrofiel karakter. Daar komt nog bij dat heel wat verschillen in de eigenschappen van de vezels te wijten zijn aan de plaats en het tijdstip van de oogst en aan hun verwerking.

Biocomposieten combineren de voordelen van de betere functionele eigenschappen met de milieuvriendelijkheid van biokunststoffen. De algemeen aanvaarde definitie van biocomposieten veronderstelt dat tenminste één bestanddeel een natuurlijke oorsprong heeft — dit kan zowel de matrix als de versterking zijn. Dit wil zeggen dat, net zoals eerder gemeld voor bioplastics, de term “biocomposieten” vaak gebruikt wordt voor materialen die slechts gedeeltelijk milieuvriendelijk zijn. Voorbeelden hiervan zijn composieten met vezels waarvan het hoofdbestanddeel of de matrix afkomstig is van petroleum en dus niet biodegradeerbaar is. Dit zijn o.a. de thermoplasten polypropyleen, polyamide, polyethyleen, polystyreen en polyvinylchloride, maar ook de thermosets zoals fenolharsen, polyesters, polyimide en polyurethaan. Ter illustratie, Ali et al. [2013] gebruikten tapiocazetmeel om de afbreekbaarheid van gespuitgiet lage dichtheidspolyethyleen, gebruikt voor wegwerpverpakkingen (zakken), te verbeteren. De biocomposieten op basis van zetmeel bleken goed afbreekbaar door de activiteit van schimmels en microorganismen uit het milieu.

Om ten volle te kunnen profiteren van alle positieve aspecten van full biomaterials moeten alle bestanddelen van biologische oorsprong en biodegradeerbaar zijn, b.v. rubber, gemodificeerd zetmeel, polymelkzuur, cellulose-esters en polyhydroxyboterzuur. Deze biocomposieten noemt men de “full biocomposites” [Roy et al. 2014, Berthet et al. 2016]. Vandaag bestaat de gebruikelijke strategie voor de ontwikkeling van biocomposieten uit de integratie van natuurlijke cellulosevezels, hennep, jute, vlas, en andere. Deze wint nog elke dag aan belang. Mosiewicki & Aranguren [2013] publiceerden een interessante review betreffende het gebruik van plantaardige olie als basismateriaal voor de productie van polymeercomposieten, door integratie van anorganische of organische deeltjes en vezels, van synthetische of natuurlijke oorsprong. De toenemende interesse voor plantaardige olie gaat gepaard met de opleving van materialen uit hernieuwbare bronnen, noodzakelijk omwille van onze groeiende behoefte aan alternatieven voor fossiele brandstof en aan materialen die minder belastend zijn voor het milieu. Eén voorbeeld springt in het oog. Ofschoon slechts zelden vermeld in de literatuur, werden er bruikbare composieten ontwikkeld uit sojahars en holle keratinevezels uit kippenveren [Wool 2005].

Onderzoek en creativiteit zullen zorgen voor een toename van het aandeel van full biocomposieten met goede en bijzonder aangepaste eigenschappen. De toekomst zal ons ongetwijfeld vertellen dat de geplante zaadjes van vandaag vruchten hebben gedragen.

References

- Ali et al. [2013]. Tapioca Starch Biocomposite for Disposable Packaging Ware, *Chemical Engineering Transactions* 32, 1711 - 1716
- Berthet et al. [2016]. Vegetal fiber-based biocomposites: Which stakes for food packaging applications? *Journal of Applied Polymer Science*, in press
- Fritz et al. [2003]. Strategies for detecting ecotoxicological effects of biodegradable polymers in agricultural applications, *Macromolecular Symposia, Special Issue: Recent Advances in Biodegradable Polymers and Plastics* 197, 1, 397 – 410
- Mosiewicki & Aranguren [2013]. A short review on novel biocomposites based on plant oil precursors, *European Polymer Journal* 49, 1243 – 1256
- Roy et al. [2014]. A Review on Bio-Composites: Fabrication, Properties and Applications, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 3, 10, 16814 - 16824
- Urtuvia et al. 2014]. Bacterial production of the biodegradable plastics polyhydroxyalkanoates, *International Journal of Biological Macromolecules* 70, 208 – 213
- Wool RP [2005]. Bio-based composites from soybean oil and chicken feathers, in bio-based polymers and composites, in Wool & Sun (eds.), *Bio-Based Polymers and Composites*, Elsevier Academic Press, Burlington (USA), 411 - 447

Une stratégie pour améliorer la performance et le traitement des bio-polyesters, des protéines et des polysaccharides pour emballages

Les composites sont constitués de deux ou plusieurs éléments ou phases; on les combine pour acquérir des propriétés uniques, que l'on ne peut acquérir avec chacune des composantes séparément. On trouve des composites naturels tout aussi bien dans le monde animal que dans le monde végétal. Le bois est un composite. Il est fait de longues fibres de cellulose maintenues ensemble par une autre substance, à savoir la lignine. La cellulose se trouve également dans le coton, mais sans lignine elle est beaucoup plus faible. Ceci illustre comment la combinaison des deux substances relativement faibles — la lignine et la cellulose — est à la base d'une substance plus forte. Les os de notre corps sont également des composites. Ils se composent d'un matériau dur mais fragile, le hydroxyapatite et d'une substance douce et souple, le collagène. La première est principalement du phosphate de calcium, et la seconde est une protéine. Individuellement ils sont assez inutiles pour notre squelette; mais les combinaisons d'hydroxyapatite et de collagène donnent aux os les bonnes propriétés pour soutenir le corps.

Le premier, moderne et artificiel matériau composite était la fibre de verre; dans l'industrie on fait souvent référence au Glass Reinforced Plastic ou GRP. En 1933 il fut inventé par Russell Games Slayter (1896-1964) et il est toujours largement utilisé, par exemple pour les équipements sportifs, panneaux de construction et beaucoup de pièces d'automobiles. La matrice est constituée de plastique et le renforcement intérieur est le verre. Le verre est en soi très fort mais fragile; il se casse facilement lorsqu'il est plié. La matière plastique tient les fibres de verre ensemble et les protège contre la casse. Aujourd'hui nous connaissons des composites innovants, fabriqués avec des fibres de carbone à la place du verre. Ceux-ci sont plus légers et plus forts que la fibre de verre, mais ils sont coûteux à produire. On les utilise pour les structures d'avions et pour les équipements de sport coûteux comme les clubs de golf. Les nanotubes de carbone sont également utilisés avec succès pour la fabrication de nouveaux composites. Ils sont encore plus légers et plus forts que ceux avec la fibre de carbone ordinaire, mais toujours très coûteux.

Les bioplastiques sont généralement décrits comme matériaux biodégradables ou matériaux d'origine biologique. Ceci signifie que les matériaux biodégradables dérivés du pétrole et les matériaux non-biodégradables provenant d'une source renouvelable peuvent être considérés comme bioplastiques.

Le concept "d'origine biologique" signifie que le matériau ou le produit est dérivé de la biomasse. En d'autres termes, aussi bien les produits communs comme le cuir et le bois, que ceux qui ont subi un traitement poussé, tels la pectine et l'acide oléique, en font partie. Le maïs et la canne à sucre sont souvent utilisés comme biomasse pour les bioplastiques. La dégradation après utilisation ne produit pas plus de dioxyde de carbone qu'initialement nécessaire pour la croissance de la plante. La biodégradation est un processus au cours duquel les micro-organismes de l'environnement convertissent les matériaux en produits de réaction naturels tels l'eau, le dioxyde de carbone et le compost. Le processus de biodégradation dépend des

conditions ambiantes, de la matière en elle-même et de son application. Les propriétés de la biodégradation en soi ne dépendent pas de la matière d'origine, mais de la structure chimique.

Dans des conditions optimales les bioplastiques biodégradables peuvent se décomposer en environ une demi-année. Et d'autres ne sont pas biodégradables du tout, d'ailleurs une propriété souhaitable pour les applications extérieures où la durabilité est l'objectif principal.

Selon Berthet et al. [2016] les bioplastiques, créés à partir de matériaux d'origine biologique et également biodégradables, doivent être appelés des "full bioplastiques". Ils profitent de rendements élevés pour la synthèse naturelle et de bilans excellents de carbone et d'énergie. De plus, ils sont entièrement recyclables en déchets organiques. Les full-biocomposites sont fabriqués à partir d'une matrice full bioplastique et des renforcement, telles les fibres végétales.

C'est un défi majeur pour le XXI^e siècle de produire des matrices efficaces et bon marché pour les matériaux composites, qui sont tant biodégradables que d'origine biologique. Les agro-polymères, tels l'amidon, certaines protéines, la cellulose et la lignine sont directement extraits de plantes. Ils sont assez bon marché et disponibles en quantités relativement grandes. Mais leur réactivité intrinsèque est un argument pour l'usage intensif. Ils sont souvent moins inertes que la plupart des plastiques à base de combustible fossile. Pour, par exemple, surmonter les propriétés de barrière à l'humidité mauvaises les bioplastiques commerciaux sont produits avec un mélange de (1) polyesters synthétiques biodégradables — comme par exemple le polycaprolacton ou le poly butyrate –adipate- téréphtalate — qui forment une phase continue et résistant à l'eau, (2) des agro-polymères et (3) des compatibilisateurs [Fritz et al. 2003].

Existent aussi les polyesters provenant de microbes comme les polyhydroxyalkanoates, qui présentent d'excellentes propriétés de barrière et de résistance à l'eau. Mais à ce jour, ils ne sont disponibles qu'à des prix relativement élevés. Le copolymère poly(β -hydroxybutyrate/(β -hydroxyvalerate), un polymère ramifié qui se compose principalement de monomères R-3-acidehydroxyalkane avec 3 à 14 atomes de carbone et d'hydrogène ou des groupes alkyl jusqu' à 9 atomes de carbone [Urtuvia et al. 2014] a obtenu beaucoup d'attention. Déjà, certaines entreprises industrielles commercialisent des polyesters de microbes.

Cependant il convient de noter qu'aujourd'hui presque tous les bioplastiques dérivés de biomasse sont produits à partir de sources alimentaires nobles. À une époque où le droit fondamental à l'alimentation nécessaire pour le peuple est un défi majeur, nos autorités politiques devraient encourager le développement de nouveaux matériaux provenant de sources renouvelables sans être en concurrence avec l'usage alimentaire.

Il y a des milliers de fibres différentes dans le monde. Les fibres naturelles comprennent celles produites par les animaux, comme la soie et la laine; et par les plantes, comme le coton, de lin et le chanvre; et par des processus géologiques, comme l'amiante. Pour les applications dans le secteur de l'emballage alimentaire, l'accent est mis sur les fibres de remplissage végétales: les fibres lignocellulose, qu'on trouve facilement partout dans le monde et pour peu d'argent. Ces matières sont, par définition, biodégradables.

Les fibres lignocellulose ont pas mal de mérites. Ils présentent une faible densité par rapport à la fibre de verre, par exemple. Cela signifie que des matériaux composites plus légers peuvent être obtenus. Ils ne sont pas abrasifs pour les machines. Ils présentent une grande rigidité et ont peu ou pas d'impact sur la santé des ouvriers. Mais il y a aussi quelques défauts; ceux-là ont à voir avec leur structure chimique, avec leur sensibilité thermique et leur caractère hydrophile. En outre, beaucoup de différences dans les propriétés des fibres sont dues à l'endroit et le moment de la récolte et à leur traitement.

Les bio-composites combinent les avantages des propriétés fonctionnelles optimisées avec le respect pour l'environnement des bioplastiques. La définition généralement acceptée de bio-composites suppose qu'au moins un ingrédient possède une origine naturelle, cet ingrédient peut être soit la matrice, soit le renforcement. Cela signifie que, comme indiqué précédemment pour les bioplastiques, le terme "bio-composites " est souvent utilisé pour les matériaux, qui ne sont que partiellement respectueux de l'environnement. On peut citer les composites avec des fibres dont la composante principale ou la matrice provient du pétrole et est donc non-biodégradable. Il s'agit des thermoplastiques: polypropylène, polyamide, polyéthylène, polystyrène et polychlorure de vinyle, mais aussi des matières thermodurcissables telles les résines phénoliques, les polyesters, le polyimide et le polyuréthane. À titre d'exemple, Ali et al. [2013] ont utilisé le tapioca afin d'améliorer la dégradabilité de polyéthylène à faible densité, utilisé pour emballages jetables (sacs). Ces bio-composites semblaient bien dégradables suite à l'activité de champignons et de micro-organismes dans l'environnement.

Pour profiter pleinement de tous les aspects positifs des full biomatériaux tous les composants doivent être d'origine biologique et biodégradables, par exemple le caoutchouc, l'amidon modifié, l'acide poly lactique, les esters cellulosiques et l'acide poly-hydroxybutyrate. Ces bio-composites sont appelés "full bio-composites " [Roy et al. 2014; Berthet et al. 2016]. Aujourd'hui, la stratégie habituelle pour le développement des bio-composites est l'intégration de fibres de cellulose naturelle, de chanvre, de jute, de lin et d'autres. Il gagne tous les jours en intérêt. Mosiewicki & Aranguren [2013] ont publié une étude intéressante sur l'utilisation d'huile végétale comme matière de base pour la production de composites polymères, par l'incorporation de particules inorganiques ou organiques et de fibres, d'origine synthétique ou naturelle. L'intérêt croissant pour l'huile végétale est accompagné de la reprise des matériaux provenant de sources renouvelables, nécessaires en raison de notre besoin croissant pour les alternatives pour combustibles fossiles et pour matériaux à moindre impact environnemental. Un exemple saute à l'œil. Bien que rarement mentionné dans la littérature, des composites utilisables ont été développés à partir de résine de soja et de fibres creux de kératine de plumes de poulet [Wool 2005].

La recherche et la créativité assureront une augmentation de la proportion des full bio-composites avec de bonnes propriétés personnalisées. L'avenir nous dira sans doute que les graines plantées aujourd'hui ont porté des fruits.

Références

Ali et al. [2013]. Tapioca Starch Biocomposite for Disposable Packaging Ware, *Chemical Engineering Transactions* 32, 1711 - 1716

Berthet et al. [2016]. Vegetal fiber-based biocomposites: Which stakes for food packaging applications? *Journal of Applied Polymer Science*, in press

Fritz et al. [2003]. Strategies for detecting ecotoxicological effects of biodegradable polymers in agricultural applications, *Macromolecular Symposia, Special Issue: Recent Advances in Biodegradable Polymers and Plastics* 197, 1, 397 – 410

Mosiewicki & Aranguren [2013]. A short review on novel biocomposites based on plant oil precursors, *European Polymer Journal* 49, 1243 – 1256

Roy et al. [2014]. A Review on Bio-Composites: Fabrication, Properties and Applications, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 3, 10, 16814 - 16824

Urtuvia et al. 2014]. Bacterial production of the biodegradable plastics polyhydroxyalkanoates, *International Journal of Biological Macromolecules* 70, 208 – 213

Wool RP [2005]. Bio-based composites from soybean oil and chicken feathers, in bio-based polymers and composites, in Wool & Sun (eds.), *Bio-Based Polymers and Composites*, Elsevier Academic Press, Burlington (USA), 411 - 447
