



# Les biomatériaux

### DEUX SENS POUR UN MEME TERME



Le terme biomatériau est initialement issu du vocabulaire médical. Il désignait les **matériaux biocompatibles**, c'est-à-dire tolérés par l'organisme humain. C'est le cas des prothèses de hanche ou encore des implants mammaires. Aujourd'hui, la prise de conscience des problèmes écologiques ont donné au terme biomatériau une acception plus large. Ils recouvrent les matériaux composés majoritairement de matières premières agricoles et dont la dégradation, la combustion ou le recyclage ne génèrent pas de produits nocifs pour l'environnement. Dans les deux cas, il s'agit de matériaux conçus pour répondre à des contraintes biologiques ou environnementales.

### LES MATÉRIAUX D'ORIGINE BIOLOGIQUE

Actuellement, les matériaux les plus utilisés dans le monde sont le plastique, le béton, le **verre** et



l'acier. Si leurs qualités sont multiples, ce sont pour la plupart de

gros consommateurs de ressources fossiles, ce qui soulève deux problèmes. Ces ressources sont vouées à se tarir, d'ici quelques dizaines d'années pour le pétrole et, surtout, leur transformation génère des émissions polluantes, dont des gaz à effet de serre. Parlant de ce constat, des chercheurs et des entreprises se sont tournés vers les ressources renouvelables. La **biomasse végétale** (l'ensemble



des végétaux d'un territoire) présente tous les atouts pour fabriquer et produire à grande échelle des matériaux dits « propres ». On peut distinguer deux types de biomatériaux : les polymères biodégradables et les agromatériaux.

#### BIODÉGRADABILITÉ

Un matériau est dit biodégradable lorsque les micro-organismes du sol peuvent le digérer entièrement. Ces éboueurs de la terre, des bactéries et champignons microscopiques, ne rejettent alors que des sels minéraux, du gaz carbonique, du méthane et de l'eau, qui réintègrent le cycle de la vie.

#### LES POLYMÈRES BIODÉGRADABLES

En 1994, une directive européenne imposait de trouver une voie alternative à la mise en décharge des déchets plastiques. Cette position a permis de lancer le développement des polymères biodégradables ou biopolymères. Les polymères sont des matériaux composés d'un nombre de

molécules allant d'une centaine à plusieurs millions. Ceux d'origine naturelle sont regroupés en trois familles : les polysaccharides (amidon, cellulose, chitosane, pullulane), les protéines (collagène, gélatine, caséine...) et la lignine. Quatre sortes de polymères biodégradables sont commercialisées. Les biopolymères produits par des micro-organismes génétiquement modifiés (commercialisés sous les noms de PHA, PHV et PHBV) sont développés aux États-Unis notamment, afin d'améliorer le rendement et la qualité du plastique à base d'amidon de maïs. Les biopolymères naturels sont issus de plantes (céréales et pommes de terre). Les biopolymères synthétiques (PLA) sont produits à partir de matières premières renouvelables par un procédé industriel de synthèse, la polymérisation. Enfin, il y a les polymères mixtes, issus de biopolymères et de polymères d'origine pétrochimique. Pour tous ces produits, de nombreuses applications ont vu le jour, notamment l'emballage, pour l'agriculture.

#### LES AGROMATÉRIAUX

Les agromatériaux rassemblent les biomatériaux formés de mélanges de fibre végétale naturelle et de polymères (amidon, cellulose ou d'origine synthétique), ainsi que le bois matériau comme élément de construction pour l'habitat ou l'industrie. Parmi les matières premières, on retrouve : le bois, le chanvre, le lin, le jute, le liège, le jonc de chine, le sisal, la cellulose, l'herbe, valorisés sous forme d'éléments de construction, de revêtements de sol, palettes de transport, pièces de voiture, textiles ou matériaux d'isolation.

### Évolution de la capacité de production mondiale de polymères biodégradables

Année	Polymères biodégradables (en tonnes)
1990	450
1995	18 200
2000	44 000
2002	254 000
2005 - 2007	495 000



En France, le **chanvre** a été relancé grâce aux perspectives d'une nouvelle utilisation sous forme de biomatériau. En pleine expansion, la filière représentait 900 hectares en 2003, soit la moitié de la production européenne. Le chènevis (graine), la fibre et la chènevotte (bois) sont les différents produits issus de la plante qui entrent dans la composition de matériaux variés. Dans le bâtiment, les isolants de chanvre permettent d'éviter la laine de verre. Les bétons légers sous forme de granulats sont utilisés pour les sols, les murs et l'isolation de la toiture. Naturels, ces biomatériaux répondent aux nouvelles attentes de qualité environnementale des constructions.

#### DES MATÉRIAUX LÉGERS ET ÉCONOMIQUES

Les matériaux biodégradables se décomposent comme tous les déchets organiques, c'est-à-dire sans rejeter de polluants dans la nature.



La fin de vie est simplifiée, le **compostage** est une solution idéale pour la gestion des déchets des biens de courte durée de vie. Ici, pas d'effet de serre : le CO<sub>2</sub> relâché est capté pour le renouvellement de la biomasse (la culture de végétaux pour produire de nouveaux biomatériaux). L'un des atouts des biomatériaux est leur légèreté. Par exemple, le lin est utilisé pour la fabrication de pièces d'habillage intérieur pour l'automobile. Le gain de poids se répercute aussi sur la consommation en carburant. Si ce n'est pas encore

vrai pour toutes les techniques de transformation du végétal, la fabrication de biomatériaux permet de consommer de 50 à 80 % d'énergie en moins qu'avec les ressources fossiles, pour un produit équivalent. Grâce à son agriculture et à sa forêt, la France pourrait mobiliser un potentiel de biomasse représentant 30 % de sa consommation pétrolière, ce qui lui permettrait d'améliorer son niveau d'indépendance énergétique. Enfin, le marché des biomatériaux se développe fortement. La croissance annuelle est estimée à 60 %, un impact économique et social non négligeable qui accroît les emplois liés à la forêt et à l'agriculture.

#### APPLICATIONS AGRICOLES

Chaque année en France, 65 000 tonnes de plastiques sont utilisées dans le monde agricole. C'est un des marchés porteurs pour les biomatériaux. Ficelles, clip, godets et surtout **films** pour le paillage



(100 000 hectares sont couverts de 30 000 tonnes de films chaque année). Cette technique consiste à dérouler sur le sol un film généralement en plastique, pour hâter la culture et limiter la pousse des mauvaises herbes. Mais après la récolte, ces films de polyéthylène souillés par la terre ne peuvent pas être déposés en décharge et sont coûteux à nettoyer. D'où l'intérêt des agriculteurs pour les plastiques biodégradables. De nombreux produits sont composés d'amidon et de polyesters biodégradables, d'autres associent des fibres végétales et des polymères biodégradables. Ils se décomposent facilement après enfouissement sous terre. Si le prix de ces biomatériaux reste encore plus élevé que pour un film plastique classique, les surcoûts

### Biodégradable, biocompatible

254 000 tonnes  
Quantité de matériaux biodégradables produits en 2002.

800 000 ha  
Surface de culture non alimentaire en France.

90 %  
Proportion des polymères biodégradables issus de ressources renouvelables.

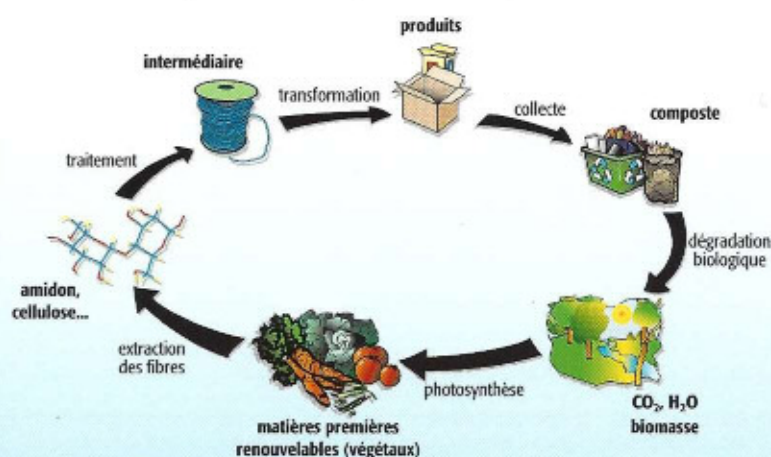
10 %  
Proportion des polymères biodégradables d'origine pétrochimique.

0,17 %  
Part des plastiques biodégradables dans le marché mondial des plastiques en 2002.

1 à 10  
Le prix des polymères biodégradables est 1 à 10 fois supérieur à celui des polymères conventionnels.

3,2 millions  
Nombre estimé de porteurs d'un biomatériau médical en France.

### Cycle de vie d'un produit biodégradable



### La prothèse de hanche



80 000 par an en France

de recyclage et de main d'œuvre que l'utilisation de ce dernier entraîne font qu'aujourd'hui, ces biomatériaux commencent à être compétitifs.

#### l'EMBALLAGE MÉNAGER ET LA RESTAURATION



Le secteur de l'emballage et du **conditionnement** s'est rapidement intéressé aux biomatériaux qui présentent une grande perméabilité et une bonne résistance. On trouve déjà des barquettes rigides, des pots de yaourts, des films et filets pour les fruits et légumes, sandwichs, sucreries, pains et pâtisseries... Des films transparents sont aussi proposés pour l'emballage non alimentaire. Dans la restauration, les biomatériaux vont pouvoir être produits pour la fabrication d'assiettes



et **couverts** de pique-nique et de restauration rapide.

Les biopolymères sont aussi utilisés comme produits de calage, pour le transport de produits fragiles ou encombrants, notamment en Allemagne, aux États-Unis et en France. Ils prennent alors la forme de chips à base d'amidon. Un produit repris pour être commercialisé sous forme de jeu : les chips colorées servent d'unité de construction.

#### DES FREINS AU DÉVELOPPEMENT

Pour atteindre les perspectives de développement espérées, les spécialistes vont devoir lever plusieurs verrous. Premier obstacle : le coût de production. Pour une même utilisation, un matériau biodégradable est toujours de 1 à 10 fois plus cher qu'un plastique d'origine pétrochimique. D'autre part, certains biomatériaux ne sont pas toujours convaincants : les performances techniques sont encore insuffisantes en comparaison avec les produits déjà existants, pour certains emballages ménagers par exemple. Le compte à rebours du départ de la **biodégradation** du matériau n'est pas



toujours maîtrisé. Prenons un pot de yaourt en biopolymère. Tout fonctionne bien quand le pot se dégrade dans la poubelle. Mais, s'il commence à se décomposer avant même d'être arrivé dans un magasin, c'est la catastrophe. Ce problème s'est posé en Allemagne pour un fabricant qui a alors décidé d'arrêter l'expérience. Selon les procédés de fabrication, il est aujourd'hui possible de régler

grossièrement le début de la dégradation, de quelques jours à quelques mois après fabrication. Là encore, la recherche doit affiner les procédés. Autre frein : du côté des gouvernements, la législation n'est pas incitative. Une prise de position franche visant à promouvoir ou à imposer l'utilisation de certains biomatériaux permettrait de lancer le marché.

#### DES PERSPECTIVES ENCOURAGEANTES

Depuis 2002, l'intérêt porté aux biomatériaux est perceptible. Les campagnes de sensibilisation à la protection de l'environnement portent leurs fruits et la demande du public pour des **matériaux « écologiques »**



est de plus en plus forte. Du côté des industriels, les nombreux brevets déposés sont signe de l'ampleur du mouvement. Les biomatériaux disposent de larges marchés puisqu'ils sont attendus dans le secteur automobile et aérospatial pour remplacer la fibre de verre dans les plastiques composites.

Si la production de matériaux biodégradables était de 450 tonnes en 1990, les spécialistes prévoient une production de 5 millions de tonnes par an à l'horizon 2020. Avec une croissance annuelle d'environ 60 %, les biomatériaux représentent un marché particulièrement prometteur et un enjeu environnemental majeur.

#### LES AUTRES BIOPRODUITS

Les biomatériaux font partie de la famille des bioproduits. Première filière, les biocarburants sont en train d'émerger dans le monde entier. Le diester et l'éthanol sont fabriqués à base de **colza**, tournesol, betterave...



Pour le moment ils ne remplacent pas l'essence et le gazole mais y sont incorporés en petite quantité. Deux directives européennes devraient pourtant faire changer les choses : le pourcentage de biocarburant incorporé devra atteindre 2 % en 2005 puis 5,75 % en 2010. Pour la production d'énergie, les biocombustibles comme le **bois** et les



sous-produits de l'agriculture, sont une alternative à l'utilisation de combustibles d'origine fossile (charbon, gaz naturel...). Les industries chimiques, pharmaceutiques et

cosmétiques se tournent aujourd'hui vers les biomolécules pour fabriquer leurs produits. Ces molécules synthétisées à partir de matières premières végétales sont utilisées pour le développement de lubrifiants, graisses et huiles ; de tensioactifs (molécules au pouvoir émulsionnant, adoucissant, mouillant ou détergent) et de soignants.

#### LES MATÉRIAUX BIOCOMPATIBLES

Dans le milieu médical, les biomatériaux sont définis comme des matériaux non vivants, conçus pour interagir avec un système biologique (un organe, des cellules du corps humain), comme implants permanents (**prothèse**) ou lors d'un contact



temporaire (outils médicaux, fil de suture...)

Du gel au métal, d'origine synthétique ou naturelle, plusieurs sortes de matériaux peuvent convenir.

Une condition doit être remplie : la biocompatibilité. C'est-à-dire avoir des caractéristiques physico-chimiques les plus proches possibles des propriétés du milieu vivant dans lequel le biomatériau va s'insérer. Le matériau ne doit pas provoquer de réaction cancérogène ou de rejet, et ne doit pas être toxique. Les biomatériaux ne se définissent donc pas par une nature particulière mais par l'usage auquel on les destine.

Parmi les biomatériaux les plus utilisés, on trouve : des métaux et alliages métalliques, des céramiques, des plastiques, des matériaux composites, le collagène, la cellulose...

Ils interviennent dans la plupart des secteurs de la chirurgie réparatrice, avec les **implants mammaires** en



silicone par exemples, mais aussi dès qu'il y a des outils d'investigation à amener à l'intérieur du corps. Ils peuvent constituer la prothèse entière ou bien seulement constituer



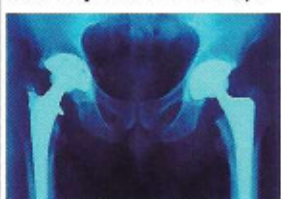
l'enveloppe d'un système comme un **stimulateur cardiaque**. Enfin, la manipulation et le stockage de tissu ou de cellules – notamment le sang – requièrent des récipients qui ne les contamineront pas. Les biomatériaux sont donc partout.

#### REPLACER LES OS ET LES DENTS

Les tissus osseux et dentaires possèdent des caractéristiques semblables. On retrouve donc les mêmes biomatériaux en chirurgie réparatrice orthopédique et odontologique.

Les premières dents artificielles connues ont été découvertes sur des crânes mayas. Elles étaient en nacre. Aujourd'hui, ce sont les céramiques renforcées avec des fibres de verre qui se sont imposées comme matériau répondant au mieux aux contraintes spécifiques des prothèses dentaires : le contact direct et prolongé avec la mâchoire, susceptible d'engendrer des phénomènes de rejet.

Les prothèses osseuses répondent elles-aussi à des contraintes physiques très fortes. Une **prothèse de hanche**, par



exemple, doit être capable de supporter le poids du corps sans se déformer et sans s'user. À l'origine en alliage à base d'or, de platine ou de mercure, puis en acier inoxydable, leur composition a évolué. Les métaux subissent une corrosion importante au contact du milieu vivant. Les alliages de titane ont donc pris le pas sur les autres métaux et sont toujours utilisés.

Classiquement, une prothèse de hanche est aujourd'hui constituée d'une bille en alliage de cobalt et de chrome, supportée par un tronc en titane fixé directement dans le fémur. Cette bille s'articule au niveau de la hanche dans une cavité en polyéthylène. Pour sceller la prothèse dans la hanche, un « ciment » est nécessaire. Il est de préférence en céramique puisque les polymères sont déformables et s'usent rapidement.

#### LENTILLES ET IMPLANTS OCULAIRES

Pour que les lentilles de contact n'irritent pas l'œil, il a été nécessaire de fabriquer un biomatériau adapté. Les premiers essais remontent à 1949, avec des modèles en polyméthacrylate de méthyle, pour corriger la myopie. Mal tolérées, elles sont désormais remplacées par des **lentilles hydrophiles** (elles contiennent jusqu'à 70 % d'eau). Leur perméabilité à



l'oxygène et au CO<sub>2</sub> permet une bonne respiration de la cornée. Leur principal défaut est qu'elles doivent être souvent nettoyées et stérilisées. La recherche travaille donc à fabriquer de nouveaux biomatériaux, permettant un port permanent.

Côté chirurgie, les implants oculaires se sont largement répandus depuis une quinzaine d'années. La technique et les biomatériaux développés sont bien au point, notamment pour le traitement de la cataracte.

#### UN PEU D'HISTOIRE

C'est sur des momies égyptiennes datant de l'Antiquité qu'ont été retrouvées les premières traces d'implantation de matériaux dans le corps humain à des fins thérapeutiques. Des pierres taillées et des pièces métalliques servaient alors à obstruer le crâne après trépanation. Ensuite, il faut attendre le début du **xviii** siècle pour que les chirurgiens aient recours aux boyaux d'animaux (catgut), pour suturer les plaies après opération chirurgicale.

Dès la Seconde Guerre mondiale, la fabrication et l'usage des biomatériaux s'est démocratisée avec les clous et



plaques métalliques pour réparer les **fractures** et des substituts de plasma sanguin. Les années 50 ont vu l'avènement des prothèses de la hanche et des stimulateurs cardiaques implantés.

#### CHIRURGIE VASCULAIRE

Les biomatériaux interviennent également dans la chirurgie vasculaire, et plus spécifiquement dans l'élaboration de vaisseaux sanguins synthétiques. On fabrique ainsi des prothèses tubulaires pour le traitement



des **anévrismes** et des thromboses. Les matériaux utilisés doivent être particulièrement flexibles et assurer un diamètre constant en toute circonstance afin que le sang puisse continuer de circuler normalement. Pour ce faire, on utilise le Dacron, un polyester bien connu de l'industrie textile, ou encore le polytétrafluoroéthylène expansé. Cependant, bien que ces matériaux répondent à la contrainte de flexibilité, il subsiste toujours des problèmes de formation de caillots dans ces vaisseaux, problèmes liés à la nature des parois.

#### DES MATÉRIAUX BIOACTIFS

Après implantation dans l'organisme, le matériau reste un élément étranger. Actuellement, on recherche le moyen pour l'intégrer progressivement aux tissus et le faire interagir positivement avec le milieu vivant qui l'entoure. Il est possible, par exemple, de traiter la surface avec une couche à base de protéines pour maintenir la cohérence entre tissus et prothèse.

La nouvelle génération de biomatériaux comprendra des matériaux bioactifs capables de recevoir et d'interpréter des messages (biochimiques par exemple) émis par l'organisme du patient. Ce serait un pas vers l'élaboration d'organes artificiels.