

La recherche s'active donc pour inventer des procédés de «vrai recyclage» du plastique. Plusieurs entreprises développent ainsi de nouvelles technologies fondées sur la solubilisation puis le nettoyage des chaînes de polymères à l'aide de solvants (cas de Pure Cycle Technologies, aux États-Unis). D'autres déconstruisent les chaînes de polymères par voie chimique (Ioniqa aux Pays-Bas, Jeplan au Japon, Loop Industries au Canada) ou enzymatique (Garbo en Italie, Carbios en France) afin de séparer les impuretés et récupérer les monomères avant de les repolymériser. D'autres, enfin, poussent la déconstruction du déchet plastique un peu plus loin, toujours par voie chimique, thermique ou biologique, afin de produire une gamme de petites molécules utilisables soit pour des carburants (Pyrowave en France, PK Clean et Agilyx aux États-Unis), soit pour la régénération de monomères puis de polymères (Fuenix Ecology aux Pays-Bas).

Cependant, toutes ces technologies innovantes présentent encore de fortes contraintes et limites, en termes de nature et de qualité des polymères pouvant être traités, de vitesse de traitement, de devenir des réactifs et des solvants, de rendements, de mise en place de filières industrielles et, *in fine*, de coûts environnementaux, économiques et sociétaux.

Les recherches portent aussi sur les bioplastiques, terme imprécis qui regroupe plusieurs catégories de matériaux. La plupart des bioplastiques développés ne sont que des plastiques biosourcés, c'est-à-dire issus de la biomasse. Leur seul intérêt est de remplacer le pétrole par des ressources agricoles et renouvelables (sucre, maïs) pour obtenir des matériaux de type polyéthylène (PE) ou PET (bio-PE ou bio-PET) strictement identiques aux plastiques d'origine pétrochimique, dont les déchets présentent par conséquent la même dangerosité.

UN ESPOIR : LES PLASTIQUES BIODÉGRADABLES

L'avenir se joue avec une autre catégorie de bioplastiques : celui des plastiques biodégradables en conditions naturelles, qui sont capables de réintégrer en totalité le cycle naturel du carbone et donc de participer à une véritable économie circulaire. Les vrais biodégradables se distinguent par le label «OK compost Home» (certifié par l'entreprise internationale TÜV Austria), qui garantit que les plastiques disparaissent bel et bien en conditions domestiques comme n'importe quelle feuille végétale.

Par exemple, la société Novamont, en Italie, développe des plastiques biodégradables tels que les sacs doux au toucher des rayons de fruits et légumes des supermarchés, constitués en partie d'amidon de pomme de terre et en partie



d'un polymère biodégradable issu du pétrole (le polybutyrate adipate téréphtalate).

On cherche par ailleurs des substituts au plastique. Les exemples sont nombreux. L'université de Bretagne et l'entreprise Eranova misent sur l'utilisation d'algues locales telles qu'*Ulva armoricana* pour remplacer une partie du plastique. Dans la région de Grenoble, les chercheurs de l'université et du Centre technique du papier travaillent à améliorer les propriétés barrières des papiers et des cartons, sans altérer leur biodégradabilité naturelle, pour concurrencer les plastiques d'emballage. Plusieurs sociétés (L'embeillage, Cirophane, Abeego...) commercialisent des tissus enduits de cire d'abeille lavables et réutilisables pour emballer nos aliments à domicile. En Thaïlande, la chaîne de supermarchés Rimping emballer tous ses fruits et légumes dans des feuilles de bananier, parfaitement biodégradables.

Dans notre unité de recherche, à l'Inrae de Montpellier, et en collaboration avec de nombreux partenaires à l'étranger, nous nous focalisons sur les plastiques destinés à l'agriculture et aux emballages alimentaires. Ces derniers ont un rôle essentiel dans la réduction des pertes alimentaires en isolant l'aliment et en créant une atmosphère favorable à sa conservation. Ils évitent sa contamination par des microorganismes ou des substances indésirables qui détériorent ses qualités ou le rendent impropre à la consommation.

Nous cherchons à optimiser la balance «bénéfices-coûts» des emballages en suivant quatre lignes directrices : éviter l'usage du matériau ou réduire sa consommation au strict nécessaire ; favoriser sa réutilisation ; favoriser son recyclage ; enfin, le plus important, veiller

La barquette entièrement biosourcée et biodégradable développée à l'Inrae de Montpellier par l'autrice et ses collègues. Elle est fabriquée à partir de PHA (polyesters synthétisés par des bactéries) et de paille de blé. La main montre des granules de PHA et de la paille de blé réduite en poudre.



À LIRE

NATHALIE GONTARD a récemment publié, avec Hélène Seingier, **Plastique, le grand emballé** (Stock, 2020). Cet ouvrage, fruit de trente ans de travaux et de réflexions sur les plastiques, s'adresse au grand public afin de fournir à chacun les connaissances essentielles sur ces matériaux et leurs problèmes, condition nécessaire pour faire des choix éclairés.

à ce que le matériau soit capable de réintégrer l'un des cycles biogéochimiques naturels. En d'autres termes, nous cherchons d'une part à mieux comprendre et maximiser le rôle positif des plastiques, qui est de réduire les pertes et gaspillages de denrées alimentaires ainsi que les risques sanitaires, et d'autre part à minimiser leurs impacts à long terme sur la santé et l'environnement.

Par ailleurs, avec tous les acteurs de la chaîne alimentaire et en collaboration avec une équipe spécialisée en intelligence artificielle, nous avons développé des outils d'aide à la décision, qui permettent d'anticiper et de comparer les avantages d'un emballage par rapport à un autre. Ils sont accessibles, dans leur version de base, sur la plateforme Plasticnet (<http://plasticnet.grignon.inra.fr/IateTools/>). Nous cherchons maintenant à traduire les informations fournies par nos outils en indicateurs synthétiques, qui offriraient aux acheteurs un diagnostic écologique simple pour chaque emballage disponible, établi sur les trois phases de son cycle de vie (son élaboration, son usage et son devenir après usage, y compris à long terme).

UN MATÉRIAU POUR BARQUETTE ÉCOLOGIQUE

Dans le cadre de trois grands projets européens que nous avons coordonnés, nous avons développé, en prenant appui sur nos outils de modélisation et d'aide à la décision, une barquette écologique à usage alimentaire (voir la photo page ci-contre). Cette barquette est fabriquée à une échelle préindustrielle par injection et moulage d'un matériau composite à base de polyhydroxylalcanoates, ou PHA (des polyesters synthétisés par des bactéries). La réduction globale de son coût de production est aujourd'hui entre les mains des industriels.

Ces PHA sont obtenus à partir d'effluents liquides issus de l'agriculture ou de l'industrie alimentaire, tels que des eaux usées d'huileries ou de fromageries, et de cultures microbiennes adaptées. Aux PHA on ajoute ensuite des poudres obtenues à partir de sous-produits solides tels que de la paille de blé ou des sarmements de vigne. L'ajout de ces résidus agricoles non utilisés pour l'alimentation humaine ou animale réduit le coût économique et environnemental des PHA tout en optimisant les propriétés fonctionnelles du matériau composite, sans compromettre sa biodégradabilité.

Cette barquette de nouvelle génération utilise uniquement des ressources renouvelables qui n'entrent pas en compétition avec les usages alimentaires. Elle est réutilisable et, après usage, entièrement biodégradée en quelques mois par les microorganismes du sol. Nous nous concentrons à présent sur la dernière phase du cycle de vie de cet

emballage en essayant de développer un procédé de recyclage et de décontamination adapté à la sensibilité thermique des PHA, ainsi qu'une valorisation biologique en fin de vie par méthanisation avec production de biogaz et de fertilisant.

Nous avons aussi développé des additifs nanostructurés à base d'argiles lamellaires et de nanobilles de fer, spécialement conçus pour renforcer les propriétés «barrière à l'oxygène» de nos matériaux lorsqu'ils sont destinés à emballer des aliments très sensibles à l'oxydation.

ÉLIMINER LES PLASTIQUES INUTILES

Ces exemples de travaux et d'innovations montrent qu'il est possible de développer des matériaux recyclables et biodégradables capables de remplacer les plastiques classiques dans un certain nombre d'applications. Mais il est important de souligner qu'il n'existe aucune solution miracle. Même si toutes les innovations technologiques en cours sont mises bout à bout, elles ne couvriront jamais qu'une partie de l'étendue immense du problème posé par les plastiques et ne permettraient que de maintenir le débit actuel, sans le réduire efficacement, d'émission massive de microplastiques dans l'environnement.

Alors, ne faut-il pas fermer autant que possible le robinet avant de se jeter sur les serpilières pour éponger une maison inondée? En amont, des efforts sont en effet consentis pour éliminer les plastiques inutiles. Ceux dits «à usage unique» ont été les premiers visés, et nous nous passons à présent très bien des sacs de sortie de caisse ou des cotons-tiges en les remplaçant par leurs équivalents biodégradables en coton ou en carton. De même, la vente en vrac de certains aliments se développe et bon nombre de fruits et légumes frais devront bientôt se passer de leurs habits de plastique (loi Agéc – antigaspillage pour une économie circulaire – et Plan national santé-environnement 4 ou PNSE 4).

Identifier les plastiques indispensables et éliminer ceux qui ne le sont pas est un chantier énorme que chaque individu, chaque corps de métier, chaque secteur de l'économie doit prendre à bras-le-corps, avec le soutien de la recherche. Plus globalement, le problème de la pollution plastique est un sujet complexe et difficile à appréhender sous toutes ses facettes. Ses enjeux économiques, environnementaux et de santé publique sont immenses. Mais il subsiste beaucoup d'incertitudes et d'ignorance sur les impacts des déchets plastiques à long terme, et donc sur les impacts réels des innovations censées y remédier. La science a pris du retard sur l'étude du devenir des plastiques longtemps après leur utilisation. Elle doit le rattraper. ■



TRIBUNES DU MUSÉUM

NATHALIE GONTARD interviendra le samedi 3 juillet après-midi lors de la Tribune **Plastiques : l'overdose ?** du Muséum national d'histoire naturelle, à Paris.

Événement gratuit, informations sur mnhn.fr/tribunes-plastiques

BIBLIOGRAPHIE

G. David *et al.*, **Using life cycle assessment to quantify the environmental benefit of upcycling vine shoots as fillers in biocomposite packaging materials**, *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 26, pp. 738-752, 2021.

F. Coffigniez *et al.*, **The use of modelling tools to better evaluate the packaging benefice on our environment**, *Frontiers in Sustainable Food Systems*, vol. 5, article 634038, 2021.

M. S.-L. Yee *et al.*, **Impact of microplastics and nanoplastics on human health**, *Nanomaterials*, vol. 11, article 496, 2021.

V. Guillard *et al.*, **The next generation of sustainable food packaging to preserve our environment in a circular economy context**, *Frontiers in Nutrition*, vol. 5, article 121, 2018.

N. Gontard *et al.*, **A research challenge vision regarding management of agricultural waste in a circular bio-based economy**, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 48(6), pp. 614-654, 2018.