

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 polyhydroxycarboxylates, 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 sarmants 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 biodégradable 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 permettront 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 intervendra 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 benefits 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.



L'ESSENTIEL

> Depuis les années 1950, plusieurs milliards de tonnes de plastiques se sont accumulées dans l'environnement, où ils persistent sous la forme de fragments de différentes tailles allant jusqu'à l'échelle nanométrique.

> Cette pollution en cache une autre : celle des multiples additifs, impuretés, produits secondaires et monomères qui, outre les polymères issus du pétrole, interviennent dans la composition des plastiques.

> De telles substances entrent aussi dans la composition des bioplastiques. Libérées au fil du temps, elles contaminent les liquides, les solides et l'air environnants.

> Les scientifiques développent de nouvelles méthodes pour évaluer leurs effets sur la santé et l'environnement.

L'AUTEUR



JEAN-BAPTISTE FINI
professeur et biologiste spécialiste des perturbateurs endocriniens au sein du laboratoire Physiologie moléculaire et adaptation, au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris

La pollution invisible des plastiques

Contenants, vêtements, pneus, meubles, masques... Quelle que soit leur utilisation, les plastiques contiennent de multiples substances qui diffusent dans l'environnement. On commence à mesurer l'ampleur du phénomène.

Chaque année, les humains déversent plus de 100 millions de tonnes de déchets plastiques dans la nature. De fait, depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, le plastique a envahi nos sphères professionnelles et privées et fait partie intégrante de notre vie quotidienne. Dans cette ère du « Plastocène », l'humanité a produit 8,3 milliards de tonnes de plastiques entre 1950 et 2015, selon les estimations de Roland Geyer, de l'université de Californie à Santa Barbara, Jenna Jambeck, de l'université de Géorgie, aux États-Unis, et leurs collègues. Et la production ne cesse de croître : à hauteur de 2 millions de tonnes en 1950, elle atteignait près de 400 millions de tonnes en 2015, dont près de 40 % d'emballages.

Aujourd'hui, quelque 6 milliards de tonnes de plastiques se seraient accumulées dans la nature, dont une part non négligeable dans les océans – le tristement célèbre septième

continent. Selon la même équipe, durant la seule année 2015, entre 5 et 14 millions de tonnes de déchets plastiques auraient atteint la mer. En effet, que ce soit sur terre ou en mer, ces déchets ne se décomposent pas. Qu'ils soient ingérés ou non, ils se fragmentent peu à peu jusqu'à devenir des microplastiques, voire des nanoplastiques (voir l'encadré page 57).

Or cette pollution bien visible, à l'œil nu ou au microscope, cache une pollution plus insidieuse : celle des multiples composés entrant dans la fabrication des plastiques aux côtés des polymères qui les constituent. En effet, on s'est aperçu ces dernières années qu'au fil du temps, ces composés se détachent peu à peu des polymères plastiques et diffusent dans l'environnement. Un phénomène dont on commence à saisir l'ampleur et les effets potentiels sur la santé et l'environnement.

Les plastiques sont des matériaux abordables et peu coûteux à produire, légers, résistants et polyvalents. Les principaux polymères