

NANOMATÉRIAUX

Safer by design : envisager tous les risques dès la conception

Depuis plusieurs années, chercheurs et industriels s'associent au sein de programmes visant à développer des nanomatériaux « plus sûrs » dès leur conception, pour réduire l'impact sur la santé et l'environnement. Décryptage.

C'EST UN VASTE champ de perspectives. Une approche devenue, en une dizaine d'années, un enjeu d'innovation dans le monde des nanotechnologies. La démarche « safer by design » consiste à anticiper les risques dans le processus d'innovation et de création des nanomatériaux en intégrant l'ensemble de la chaîne de valeur, de la conception des produits à leur fin de vie. « Elle repose sur trois piliers : des produits sûrs, une production sûre et un usage sûr, pour, à la clé, améliorer la sécurité du consommateur, du salarié et réduire l'impact sur l'environnement », précise Myriam Ricaud, ingénieure chimiste à l'INRS.

Concevoir des nanomatériaux en maîtrisant dès le départ leur toxicité et leur écotoxicité nécessite de s'entourer de compétences (toxicologues, spécialistes du génie des procédés, techniciens en métrologie, spécialistes des mécanismes de vieillissement des nanoproduits...) pour travailler de concert à la réduction des incertitudes et des risques humains et environnementaux liés à l'innovation industrielle. Ces dernières années, des programmes de recherche européens et nationaux, réunissant les compétences et les infrastructures d'expérimentation nécessaires se sont penchés sur la façon dont les nanoparticules sont synthétisées, enrobées, intégrées dans un produit, mais également sur leur potentiel relargage dans la nature.

En France, le labex Serenade¹ a mobilisé, de 2012 à 2020, 12 laboratoires (CNRS, Inserm, CEA, Ineris...) et deux industriels sur la définition d'une nouvelle génération de nanomatériaux écoconçus, avec un financement de 11 millions d'euros. « Il y avait la volonté d'accompagner les industriels dans l'innovation en considérant l'ensemble des risques, souligne Jérôme Rose, directeur de recherche au Centre de recherche et d'enseignement des géosciences de l'environnement (Cerege), porteur du labex. S'il existait un bagage de données sur la toxicité des nanomatériaux, les choses étaient moins documentées concernant l'utilisation des produits, l'exposition des consommateurs ou des travailleurs les mettant en œuvre et leur cycle de vie. Nous avons appliqué cette démarche globale à plusieurs cas d'étude (peintures et ciments photocatalytiques, emballages alimentaires, utilisation de nanofilaments d'argent pour écrans tactiles...) qui avaient tous leurs contraintes propres. »

Le but du jeu : réfléchir aux moyens d'adapter la recette de fabrication, aux modifications à apporter lors de

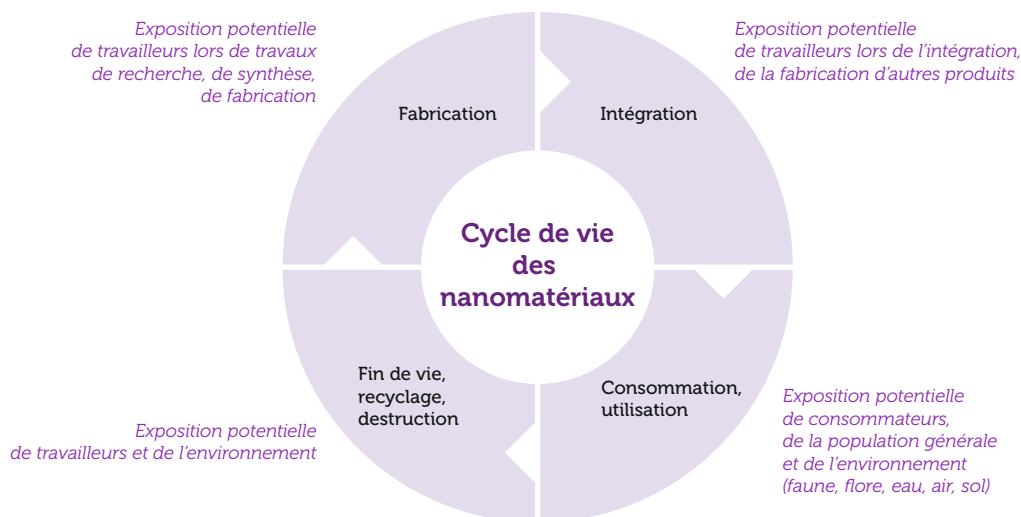
l'incorporation des nanomatériaux dans la matrice² finale pour réduire le relargage en phase d'utilisation et, en cas de relargage, la toxicité des émissions. Différentes stratégies ont été testées : la substitution (en application des principes généraux de prévention, il s'agit, dès la formulation, de travailler avec les substances les moins toxiques), l'association de la nanoparticule à un véhicule plus gros ou encore l'enrobage. On joue ainsi sur la taille, la structure et la surface. « Le principal enseignement est qu'il n'y a pas de réponse unique et que l'on aurait tort de focaliser l'approche safer by design sur les nanomatériaux sans tenir compte des domaines d'application, pour lesquels des solutions harmonisées peuvent émerger. » Penser produit plutôt que nano.

Un réflexe en amont de toute innovation

Fabricant de peinture pour le bâtiment et l'industrie, l'entreprise Allios s'est lancée dans l'aventure Serenade avec des espoirs concernant les propriétés photocatalytiques de dépollution conférées par le dioxyde de titane (TiO₂) nanométrique. « C'était l'opportunité de se placer en amont dans un programme d'innovation avec des organismes dotés de moyens pour réaliser des mesures et de s'interroger sur l'impact de nos produits à long terme », souligne Grégory Brochard, le directeur technique. Quelques années plus tard, l'entreprise n'a toujours pas la formulation miracle : elle s'est notamment heurtée à des questionnements concernant l'interaction entre les nanoparticules et la matrice et à des éventuelles émissions nocives lors du vieillissement du produit... Des essais complémentaires, en faisant varier la teneur en nanoparticules ou en jouant sur la nature des matrices, sont encore nécessaires. « Mais nos équipes de recherche et développement s'imposent désormais cette réflexion globale sur l'impact pour la santé et l'environnement en amont de toute innovation, qu'elle mette ou non en œuvre des nanomatériaux », soutient Grégory Brochard.

Autre acteur impliqué, la société Nanomakers, une start-up de 13 salariés qui conçoit, produit et commercialise des nanopoudres à base de silicium en utilisant la technologie de pyrolyse laser. Les propriétés recherchées sont notamment le renforcement mécanique des matériaux et l'augmentation des capacités de stockage d'énergie des batteries lithium-ion. L'entreprise a participé au programme européen NanoReg2, initié en

LA VIE DES NANOMATÉRIAUX PRÉSENTE UNE SUCCESSION D'EXPOSITIONS



2016, qui regroupait 42 partenaires et 17 pays et visait notamment, sur des cas concrets, l'analyse complète de la production jusqu'à l'application pour démontrer la faisabilité industrielle. Trois nanoproduits élaborés par Nanomakers étaient étudiés.

Depuis sa création il y a 11 ans, l'entreprise défend une démarche poussée en matière d'hygiène, sécurité et environnement, dans un secteur qu'elle juge encore peu réglementé. Sa chaîne de production, de conditionnement, de transport et d'intégration client est totalement confinée. Ainsi, aucun opérateur n'est en contact avec le produit. Dès la conception initiale de l'unité de production, des mesures ont été prises : réacteur mis en dépression, atmosphère de l'atelier renouvelée et filtrée, développement de systèmes de transfert de matière, double emballage des poudres avec un emballage aluminium sous vide...

« Nous avons plusieurs axes de travail, qui concernent notamment la taille des particules (éviter les trop petites tailles en conservant les propriétés souhaitées), la granulation – sur certains de nos produits, cela permet de diminuer la pulvérulence d'un facteur 10 à 100 –, ou encore la mise en suspension des poudres dans un liquide ou une matrice hôte », détaille Yohan Oudart, responsable recherche et développement. En outre, l'entreprise fournit des guides de manipulation des nanopoudres à ses clients afin qu'ils disposent de recommandations sur l'utilisation des produits et la mise en œuvre d'équipements et de protocoles d'utilisation adaptés à leurs procédés.

« Il s'agit de s'assurer que tout le monde travaille en sécurité, mais également de répondre aux questions pratiques que les clients se posent pour utiliser nos produits et de lever certains freins. C'est notre rôle de montrer que lorsque tout est anticipé depuis l'origine, il n'y a aucun problème », souligne le professionnel. Dans ce contexte, travailler avec des partenaires, comme le CEA sur la granulation, ou l'Ineris pour

caractériser l'inflammabilité des très petites particules, a été d'une grande richesse. Par son approche « zéro contact », l'entreprise entend limiter l'exposition de son personnel, celle de ses clients, et toute pollution environnementale. Elle reconnaît toutefois que la maîtrise du produit chez le client est complexe. Émettre des recommandations ne signifie pas qu'elles seront suivies. Et le secret industriel conduit parfois à limiter les échanges et donc la connaissance.

« La limite de ce concept très transverse est que, dans le temps imparti aux projets, il faut souvent se concentrer sur certaines étapes, ce qui ne permet pas de couvrir tout le cycle de vie des produits, évoque Sébastien Artous, ingénieur de recherche au CEA. Les acteurs du projet insistent, de façon naturelle, sur le cœur de leur métier, en mettant un peu de côté ce qui est satellite. » D'autant qu'à la différence de Nanomakers, pour qui les nanomatériaux constituent le cœur de métier, pour beaucoup d'entreprises, ils ne sont qu'un produit parmi d'autres, à intégrer dans un procédé industriel. Et peu s'interrogent sur leur usage, en dehors de certains domaines comme la cosmétique ou l'alimentaire où l'exposition du consommateur se pose plus directement.

Au fil des ans, le concept a toutefois évolué dans le sens d'un élargissement. « Il est parti des produits, s'est étendu aux procédés et l'on parle désormais de "safe and sustainable by design", y ajoutant une dimension développement durable, complète Joséphine Steck, chef de projet nanosécurité au CEA. L'étape de fin de vie, qui a pu être appréhendée dans le cadre du labex Serenade pour les peintures photocatalytiques, reste néanmoins la plus complexe, dans la mesure où elle implique de passer par des scénarios d'usage et une phase d'estimation. » ■

1. Serenade: Safer ecodesign research and education applied to nanomaterial development.

2. Matériau qui entoure les nanomatériaux.

Grégory Brasseur