

# Préface

Les nanosciences renouvellent notre représentation de la matière et font apparaître de nouveaux objets d'étude : les nanomatériaux et leurs propriétés physico-chimiques spécifiques. Le développement des nanosciences est promu par de récentes percées techniques, notamment en matière d'instrumentation dans le domaine de l'observation en 3D dans l'espace et dans le temps, et dans celui de la manipulation des nano-objets.

Ces avancées instrumentales permettent de poser en termes nouveaux la question fondamentale de la structure de la matière et de ses propriétés à l'échelle atomique, ce qui explique l'attrait marqué de la communauté scientifique pour les nanosciences. Parallèlement, il convient de s'interroger sur la maîtrise des risques que les produits à base de nanomatériaux pourraient entraîner dans l'environnement ou dans leurs usages quotidiens. Ces interrogations sont motivées par le désir d'assurer le développement responsable, maîtrisé et sécurisé des nanomatériaux, c'est-à-dire une forme de développement durable.

Le livre de Sophie Carencó développe ces différents aspects en intégrant les connaissances les plus récentes sur le sujet. Il apporte un éclairage expérimental, en décrivant les méthodes de synthèse et d'analyse actuellement mises en œuvre dans les laboratoires. Il montre aussi comment la compréhension des relations liant les structures et les propriétés physico-chimiques se révèle complexe et multidisciplinaire (physique, chimie, science des matériaux, biologie, voire médecine).

Tout en décrivant le très fort engouement que peuvent susciter les nanosciences, le texte ne manque pas de considérer les problèmes relevant de la toxicité et de l'écotoxicité des nanomatériaux. Il relaie certaines des nombreuses questions éthiques que soulèvent les nanotechnologies, et qui ne se résument pas à une évaluation sanitaire : elles relèvent de choix de société qui s'appuient sur une analyse de type « bénéfico-risques ».

Les réponses à ces questions ne seront pas seulement apportées par les scientifiques, mais émaneront de l'interaction avec le public, ce qui nécessite que les travaux dans le domaine des nanosciences lui soient rendus intelligibles.

Il convient de souligner que les champs de la toxicité et de l'écotoxicité sont à la croisée des chemins de principes très distincts :

- un principe statique ou « actuel » : les études de toxicité sont menées au cas par cas ;
- un principe dynamique ou « rénové » : ces études visent à réduire la toxicité en travaillant sur les processus de fabrication (en anglais *safer by design, by process*).

Suivant le chemin du premier principe, l'étude des effets toxiques induits spécifiquement par la dimension nanométrique des nanoparticules a fait l'objet de nombreux travaux. Cependant, force est de constater que les résultats restent encore très parcellaires et leur portée réduite. Ils ne concernent pas les produits réellement susceptibles d'exposer les consommateurs et ne considèrent pas non plus la totalité des voies potentielles d'exposition – l'ingestion est par exemple très peu étudiée. Notre connaissance sur la toxicité des nanomatériaux est également restreinte par le fait que près de 80 % des publications parues avant 2007 ne décrivaient que très partiellement les nanoparticules ayant fait l'objet d'une telle recherche ; ces incertitudes ne permettent pas d'établir une quelconque corrélation entre les paramètres physico-chimiques et les résultats de toxicité et d'écotoxicité.

Les coûts associés sont également un frein à ce type de recherche. C'est ce que révèle la première estimation du coût et de la durée des travaux requis pour réaliser des études de nanotoxicologie sur les nanomatériaux déjà existants : le montant du financement de ces recherches pour l'industrie américaine se chiffrerait entre 249 millions et 1,18 milliard de dollars pour une durée de plus de cinquante ans.

Les limitations des recherches visant le cas par cas et leur coût exorbitant nous invitent à changer radicalement de méthode. Il est nécessaire et urgent que la réflexion s'oriente désormais vers un développement industriel responsable et durable. Partant des propriétés spécifiques des nanomatériaux et de leur évolution tout au long de leur cycle de vie, G. Morose présente le moyen de mémoriser ce que sous-entend cette nouvelle conception des nanomatériaux : SAFER (S pour *size, surface and structure*, A pour *alternative materials*, F pour *functionalization*, E pour *encapsulation* et R pour *reduce the quantity*)<sup>1</sup>. Sophie Carencu expose ici les étapes de fonctionnalisation et d'encapsulation qui caractérisent la synthèse de nombreux nanomatériaux.

Il y a là un véritable changement de paradigme puisque d'une approche contrôlant *a posteriori* l'inocuité des nanoparticules ou des nanoproducts, on s'oriente désormais vers la conception de nanoparticules ou de nanoproducts qui présentent le moins de risques possibles pour la santé de l'homme et l'environnement, et ce dès les premières étapes de l'élaboration et de la mise en œuvre. Il s'agit donc d'intégrer aux processus de fabrication la maîtrise des risques associés aux nanomatériaux, au même titre que les autres paramètres qui caractérisent l'élaboration, la mise en œuvre ou encore la conception des produits.

Pour mener à bien un tel changement, l'organisation d'évaluation des technologies WTEC propose de passer d'une phase correspondant aux enjeux de court terme à des enjeux de plus long terme. La première phase représente principalement la collecte de données, la mise en œuvre de bonnes pratiques dans le domaine de l'hygiène et de la sécurité industrielle, avec notamment la publication de guides pratiques. Elle comprend également l'évaluation de la toxicité associée aux nanoproducts, mais

---

1. En français S pour « surface, structure et taille », A pour « matériaux alternatifs », F pour « fonctionnalisation », E pour « encapsulation » et R pour « réduction de la quantité ».

devra s'orienter vers des perspectives de plus long terme, qui s'appuieront sur la connaissance de toxicités avérées afin de chercher à les réduire, en mettant en œuvre des mesures de contrôle d'atmosphères effectives, une amélioration continue des meilleures pratiques d'hygiène et de sécurité, et la limitation de l'usage de certaines nanoparticules si le risque est trop élevé.

Signe que cette évolution est bien réelle, la Commission européenne a intégré une telle approche depuis octobre 2011. Elle a par exemple suggéré, dans le cadre de l'évaluation de la sécurité des nanomatériaux présents dans les cosmétiques, d'étudier la possibilité de développer des critères qui ne reposent plus sur une approche au cas pas cas, mais bien sur une approche catégorielle.

Éric GAFFET

Directeur de recherche au CNRS,  
membre de l'Académie européenne des sciences