

## Enjeux de la nanotechnologie

*La nanotechnologie qui regroupe les techniques et les outils de l'infiniment petit, invisible, -le millionième du millimètre, offre selon les nombreuses études réalisées des perspectives immenses dans de nombreux domaines, en l'occurrence notamment la santé, l'Energie, l'électronique, la cosmétique et les équipements.*

*Le marché mondial de ce secteur , actuellement en plein développement, au rythme annuel de 15 à 20% devrait dépasser selon certaines sources connues par leur fiabilité 90 milliards de dollars en 2024 et 300 milliards de dollars en 2032.*

*La prise de conscience des formidables opportunités qu'offre à la Tunisie l'émergence de ce secteur remonte à la première moitié des années 2000 grâce notamment aux travaux du conseil consultatif national pour la recherche et technologique sous la présidence de Sadok Ben Jomaa<sup>1</sup> ;ce qui a contribué à la décision gouvernementale de créer un centre de recherche dédié à la nanotechnologie (Crm) aujourd'hui totalement opérationnel dans le cadre du technopole dédié à la mécatronique de Sousse ;*

*Mais ce n'est que le début d'un processus appelé à s'intensifier et à s'insérer dans une stratégie globale ambitieuse en matière de recherche scientifique et de valorisation des résultats de la recherche par le secteur productif.*

*C'est pourquoi, il a été jugé utile de publier, ci-après, en tant qu'article de référence du Forum Ibn Khaldoun du mois de janvier 2025 l'excellent papier paru le premier octobre 2024 dans le quotidien « Le Monde » compte tenu de la richesse de l'analyse portant aussi bien sur les avantages que les inconvénients de la nanotechnologie.*

---

### « L'essor discret des nanotechnologies

Le Monde 1 octobre 2024

Charles De Laubier

**Le petit monde des particules proches de l'échelle de l'atome promet de grandes choses depuis cinquante ans. Les nanotechnologies espèrent s'imposer à la faveur de la transition énergétique et de l'IA. Mais elles inquiètent aussi**

---

1

Le terme « nanotechnologie » a été employé pour la première fois par un professeur japonais, Norio Taniguchi, en 1974. Un demi-siècle s’est écoulé depuis, durant lequel les nanomatériaux se sont discrètement propagés dans des pans entiers de l’économie mondiale. Ces particules invisibles à l’œil nu, que l’on trouve parfois à l’état brut dans la nature, comme le dioxyde de titane, utilisé dans des aliments, ou l’oxyde de zinc, très prisé pour le maquillage, sont largement sorties des laboratoires. Cette prolifération s’accélère avec la quête d’économie d’énergie et le développement de l’intelligence artificielle (IA) pour les concevoir. Elle n’est pas sans inquiéter la communauté scientifique et les défenseurs de l’environnement pour ses conséquences sur la santé humaine.

Trois principaux marchés de masse les utilisent déjà à l’échelle industrielle :

- la voiture électrique pour optimiser ses batteries,
- les cosmétiques pour rendre plus efficaces les crèmes et les poudres,
- ou encore les aliments pour les conserver et les colorer.

« La nanotechnologie va changer la donne, notamment dans le domaine du stockage d’énergie comme les batteries pour les véhicules électriques où différents nanomatériaux augmentent la capacité de stockage, diminuent le temps de recharge et réduisent la dépendance à certaines matières premières critiques », confirme Sean Kelly, directeur général par intérim de l’Association des industries de nanotechnologie (NIA), installée à Bruxelles.

Pour les cosmétiques, « ces technologies peuvent améliorer l’efficacité et la sensorialité des produits. Un nanomatériau utilisé dans nos crèmes solaires, le dioxyde de titane, permet d’améliorer la filtration des UV et d’augmenter le niveau de protection, tout en évitant les traces blanches sur la peau, détaille Julien Hitce, responsable polymères et matériaux chez L’Oréal. En soin, les nano silices apportent la meilleure texture possible et assurent un fini mat sur la peau, quand le nano noir de carbone augmente, lui, l’intensité du noir dans le mascara. Ces nanoparticules ne pénètrent pas dans la peau, y compris les peaux lésées ». Sur le marché mondial des cosmétiques, ils sont présents dans quelques dizaines de milliers de produits cosmétiques sur plus de 2,5 millions de produits de beauté commercialisés en Europe, d’après le site Cosmetic Products Notification Portal de la Commission européenne.

L’essor des nanomatériaux provient aussi des textiles et vêtements, des revêtements, des smartphones, des avions et de bien d’autres produits ou appareils. Autant de débouchés industriels justifiés par leurs propriétés uniques :

- chimiques (plus réactifs, plus catalyseurs...),

- physiques (très résistants, plus fusionnables...),
- ou encore électriques (plus conducteurs, plus durants...).

Dans les téléphones portables, les nanomatériaux permettent de solidifier les écrans ou d'augmenter la longévité des batteries au lithium.

## OPTIMISER LES PROCÉDÉS DE FABRICATION

Airbus en utilise ainsi pour lutter contre le givre en altitude sur les avions. « Le givre peut modifier les caractéristiques aérodynamiques de l'appareil : perte de portance, augmentation de traînée, et affecter la mesure des sondes ou endommager le moteur », explique Fabien Dezitter, expert en givrage chez Airbus, qui utilise du graphène, un type de nanomatériau hyper-résistant découvert il y a vingt ans.

Quant aux médicaments ou aux implants tels que les pacemakers, ils peuvent en contenir eux aussi. Une start-up réunionnaise, Torskal, utilise même des nanoparticules d'or pour la thérapie contre le cancer. « Les propriétés physiques de l'or à l'échelle du nanomètre [milliardième de mètre] sont intéressantes, précise Anne-Laure Morel, sa PDG et fondatrice. L'activation à distance de l'or, par son irradiation, permet de générer l'hyperthermie pour induire la mort cellulaire. Les particules sont injectées dans la tumeur puis irradiées.

» L'IA vient donner un coup de fouet supplémentaire à la dissémination des nanomatériaux dans l'économie mondiale. « L'IA participe à l'accélération de l'émergence de la nanotechnologie parce que les modèles mathématiques utilisés dans l'IA apportent des solutions d'analyse et de prédiction des propriétés des nano-objets, avec un gain de temps énorme par rapport à l'analyse "faite à la main" par les chercheurs au vu de la quantité de données à traiter », explique Rosine Coq Germanicus, professeure en nanoscience à l'université de Caen et au laboratoire Crismat en Normandie. Elle étudie à l'échelle nanoscopique les propriétés de la matière et des composants microélectriques qui seront ensuite intégrés dans les smartphones, les pacemakers ou les voitures électriques.

La nanomatériau ainsi analysée permet d'optimiser les procédés de fabrication de ces appareils et véhicules, leur fiabilité et surtout leur durabilité. Cela non seulement freine l'obsolescence mais aussi réduit leur impact environnemental. Ainsi, la lutte contre le réchauffement climatique et le recours à l'IA pour accélérer la nanofabrication placent les nanotechnologies au cœur de la transition énergétique. De quoi amener les écologistes à redoubler de vigilance : en France, le parti Les Ecologistes ne cesse d'alerter sur les nanomatériaux et les nanoparticules, considérés, à l'instar des perturbateurs endocriniens, comme des « substances toxiques pour la santé et l'environnement »

## BATAILLE MONDIALE

Si le poids de cette « nanoéconomie » naissante est difficile à évaluer, les chiffres qui circulent sont spectaculaires. « Il n’y a pas une seule étude exhaustive sur l’utilisation des nanotechnologies, car elles sont utilisées dans tous les secteurs d’activité. Et les chiffres sont contradictoires, selon les sources, admet Sean Kelly, de l’association NIA. Mais, si l’on fait une estimation moyenne, ce marché à l’échelle microscopique de 1 milliardième de mètre, les nanomatériaux sont à manipuler et à doser avec précaution, car ils présentent des risques pour la santé des êtres vivants, dont l’humain. D’autant que ces nanoparticules sont insolubles ou biopersistantes. A l’heure où la société fait la chasse aux nanoparticules et aux perturbateurs endocriniens, il serait malvenu que les nanomatériaux deviennent un péril. Dans les cosmétiques, les aliments, l’air ou l’eau, les « nanos » peuvent avoir des effets indésirables

. « Les risques liés à l’exposition aux nanomatériaux sont variés. Le plus généralement, ce sont des effets de type inflammatoires, sur des modèles cellulaires ou animaux. Chez les travailleurs, la préoccupation principale concerne la voie inhalatoire, en particulier pour ceux qui fabriquent les nanomatériaux », explique Emmanuel Flahaut, docteur en science des matériaux et directeur de recherche au CNRS.

Il y a dix ans, dans le livre Nanotoxiques (Actes Sud, 2014), l’auteur Roger Lenglet affirmait que les nanos étaient aussi dangereuses que l’amiante, laquelle provoque cancer du poumon et mésothéliome.

### Pas d’harmonisation internationale

Pour éviter que les particules utilisées comme filtre ultraviolet, colorant ou conservateur ne tournent mal, plusieurs règlements européens contraignants existent, tels que Reach (autorisation de produits chimiques avant leur mise sur le marché), CLP (étiquetage des substances) ou encore le règlement « relatif aux produits cosmétiques » (notification avant commercialisation et substances interdites).

Mais ces garde-fous sont-ils vraiment respectés ? De plus, il n’existe pas encore d’harmonisation internationale. « En France, des contrôles sont pratiqués. S’ils restent

insuffisants, c'est essentiellement faute de moyens pour les mettre en œuvre. A ma connaissance, cela concerne essentiellement l'obligation d'étiquetage – mention "[nano]" pour les ingrédients concernés – dans les secteurs alimentaire, biocide et cosmétique », explique Emmanuel Flahaut. C'est la direction générale de la consommation, de la concurrence et de la répression des fraudes (DGCCRF), à Bercy, qui contrôle les produits contenant des nanomatériaux. Par exemple, elle enquête chaque année sur les crèmes solaires. Seulement cinq filtres solaires sont autorisés sous forme de nanomatériaux, comme le dioxyde de titane ou l'oxyde de zinc. « Neuf produits (essentiellement de maquillage : highlighter, fards à paupières, gloss...) contenant des nanomatériaux non autorisés par le règlement "cosmétiques", en particulier de l'oxyde de fer et du dioxyde de titane, ont été retirés volontairement du marché par les professionnels concernés », assure la DGCCRF, après contrôle de soixante-dix professionnels et analyse de trente. Il s'agit le plus souvent du non-respect des limites de taille des particules ou dans l'absence d'étiquetage « nano » obligatoire. « Le registre R-Nano [créé en France en 2013 pour y lister les substances nanoparticulaires à déclarer obligatoirement] ne contient aucune information relative ni aux dangers ni à l'exposition », regrette Emmanuel Flahaut.

Le Monde du 1<sup>er</sup> octobre 2024

CHARLES DE LAUBIER «

---

**Forum Ibn Khaldoun pour le développement le 5 janvier 2025**