

ROGER LENGLET

NANO TOXIQUES

UNE ENQUÊTE

ACTES SUD
questions de société

NANOTOXIQUES

Les produits contenant des nanoparticules envahissent notre quotidien. Invisibles à l'œil nu, ces nouvelles molécules high-tech laissent parfois deviner leur présence par les accroches publicitaires : aliments aux "saveurs inédites", "cosmétiques agissant plus en profondeur", "sous-vêtements antibactériens", fours et réfrigérateurs "autonettoyants", articles de sports "plus performants", et armes plus destructrices...

Sans cesse, les ingénieurs en recherche et développement inventent de nouvelles applications des nanos qui sont commercialisées sans le moindre contrôle, au mépris de la réglementation les obligeant à tester la toxicité des substances avant de les vendre. Or, il s'avère que ces nanoparticules sont souvent redoutables – elles sont si petites que certaines peuvent traverser tous les organes, jouer avec notre ADN et provoquer de nombreux dégâts.

Grâce à son enquête aussi rigoureuse qu'explosive, Roger Lenglet a retrouvé les principaux acteurs des nanotechnologies. Il livre ici leurs secrets et les dessous de cette opération menée à l'échelle planétaire qui, avec le pire cynisme, continue de se déployer pour capter des profits mirobolants au détriment de notre santé.

Avec ce premier livre en français sur la toxicité des nanoparticules, Roger Lenglet tente de prévenir un nouveau scandale sanitaire d'une ampleur inimaginable.

Roger Lenglet, philosophe et journaliste d'investigation, est aussi l'auteur de Menace sur nos neurones. Alzheimer, Parkinson... et ceux qui en profitent (avec Marie Grosman) chez Actes Sud, de 24 h sous influences, aux Nouvelles Editions François Bourin (2013), et de Syndicats : corruption, dérives, trahison. Comment sauver le syndicalisme (avec Jean-Luc Touly) chez First (2013). Il est membre de la Société française d'histoire de la médecine.

Illustration de couverture : © Laguna Design/Science Photo Library/Corbis, 2014

ACTES SUD

DÉP. LÉG. : MARS 2014
22 € TTC France
www.actes-sud.fr

ISBN 978-2-330-03034-6



DU MÊME AUTEUR

MENACE SUR NOS NEURONES. ALZHEIMER, PARKINSON... ET CEUX QUI EN PROFITENT (Avec M. Grosman), Actes Sud, 2011 ; Babel n° 1229.

SYNDICATS : CORRUPTION, DÉRIVES, TRAHISONS (avec J.-L. Touly), First, 2013.

24 H SOUS INFLUENCES – COMMENT ON NOUS TUE JOUR APRÈS JOUR, Nouvelles Éditions François Bourin, 2013.

UN POUVOIR SOUS INFLUENCE – QUAND LES THINK TANKS CONFISQUENT LA DÉMOCRATIE (avec O. Vilain), Armand Colin, 2011.

EUROPE ÉCOLOGIE : MIRACLE OU MIRAGE ? (avec J.-L. Touly), First, 2010.

LOBBYING ET SANTÉ, Éditions Pascal-Mutualité française, 2009.

COCKTAIL D'ENFER (sous le pseudonyme Raymond Clounet, avec S. Pradinas), Éditions Pascal-Mutualité française, 2008.

L'ARGENT NOIR DES SYNDICATS (avec J.-L. Touly), Fayard, 2008.

PROFESSION CORRUPTEUR – LA FRANCE DE LA CORRUPTION, Jean-Claude Gawsewitch Éditeur, 2007.

SILENCE, ON INTOXIQUE ! (avec A. Aschieri), La Découverte, 2006.

L'EAU DES MULTINATIONALES, LES VÉRITÉS INAVOUABLES (avec J.-L. Touly), Fayard, 2006.

L'INDUSTRIE DU MENSONGE, préface et compléments pour J. Stauber et S. Rampton, coll. "Contre-feux", Agone, 2004.

SITES POLLUÉS EN FRANCE. ENQUÊTE SUR UN SCANDALE SANITAIRE (avec F. Ogé), coll. "Librio", Flammarion, 2004.

TABAC-ARNAQUE, DANGER ET DÉSINTOXICATION (avec M. Langre, Dr B. Topuz *et al.*), Flammarion-Mutualité française, 2004.

REPENSER L'OFFRE DE SOIN, L'Atelier-Mutualité française, 2000.

DES LOBBIES CONTRE LA SANTÉ (avec B. Topuz), Syros-Mutualité française, 1998.

L'AFFAIRE DE L'AMIANTE, La Découverte, 1996.

LES IGNORANCES DES SAVANTS (avec T. Ivainer), Maisonneuve et Larose, 1996.

LE GRIFFONNAGE – ESTHÉTIQUE DES GESTES MACHINAUX, Éditions François Bourin, 1993.

SCIENCES : LE PROBLÈME DE LA VULGARISATION (avec A. Cauquelin), Universalis 1985, Encyclopédia universalis, 1985.

Roger Lenglet

NANOTOXIQUES

Une enquête

REMERCIEMENTS

Je remercie Pierre Wolf-Mandroux, Robin Lenglet,
Marie Grosman, Thibaud et Simon Pradinas.

SOMMAIRE

INTRODUCTION : NANORÊVES.....	9
I. LA COURSE AUX NANOS.....	13
Eric Drexler, Prométhée promoteur.....	14
Les nanotechnologies ne sont pas tombées du ciel	20
Lobbying et effet d'aubaine économique	22
Rêves et construction du consensus	25
Un budget mondialement imité	32
Foresight Institute : "Notre rôle est minime"	38
L'embarrassant Eric Drexler.....	42
Des "machines citoyennes"	45
Un Nobel de chimie créationniste et affairiste	47
NanoBusiness Alliance ou les industries embusquées	50
Comment attirer des milliards.....	53
"Nous devons gagner cette course"	56
Des prévisions hypnotiques	58
Des rapports entassés dans les placards	63
Le Conseil économique et social se contorsionne	65
Le syndrome des OGM.....	69
Des parlementaires qui aiment les nanos	71
Fullerènes : des dangers pointés dès 1996	72
Un danger par inhalation, ingestion ou contact.....	77
L'invasion des nanos.....	80
La mondialisation des nanos.....	84
Des complexes nanotechnologiques sans complexe.....	87
"Pièces et main-d'œuvre, avez-vous dit?"	88

Les feuilles de route sont-elles devenues l'avenir de l'homme?	91
Les nanos sous la houlette des agences de conseil	95
Chercheurs douteux	99
En France, les leaders de la recherche veulent aussi rassurer	100
Nouveaux secrets militaires.....	103
<i>L'armée embauche des droïdes et des acteurs privés....</i>	106
<i>Les libellules de l'armée française.....</i>	109
La police nationale française déjà prête	110
La DGSE monte à l'assaut des nanos.....	112
L'agroalimentaire invente des saveurs inédites.....	114
Magic Nano a disparu comme par magie.....	119
La danse du ventre des laboratoires pharmaceutiques	122
La nouvelle révolution industrielle.....	127
 II. DU RÊVE AU CAUCHEMAR.....	131
Ces cosmétiques qui agissent tellement en profondeur	132
La résistible ascension du nano-argent.....	139
2013 : vous avez des nanos à déclarer?.....	145
Une base de données publique sur les produits nanos	151
La filière nano en France est gigantesque	154
L'OMS bouge et se soucie des enfants	155
Génotoxicité de 15 nanomatériaux.....	158
Y a-t-il des industriels dans la salle?.....	161
Étiquetage des aliments : la hantise des industriels.....	163
 III. NE PLUS SE LAISSER MANIPULER.....	167
Le public face aux étiquettes.....	167
Les risques économiques du forcing nanotechnologique.....	170
Comment neutraliser une mascarade.....	172
Les assureurs pressentent le gouffre.....	174
Transhumanité et philosophie de la confusion.....	177
Des ennemis du principe de précaution.....	181
Quelques réflexes pour réduire les expositions	185

ANNEXES	189
Glossaire	191
Produits industriels souvent chargés de nanoparticules	195
Principales nanoparticules : leur toxicité et les produits chargés	205
Ressources Internet	227
Bibliographie.....	229

SOMMAIRE DES ILLUSTRATIONS

N° 1 – Du mètre au nanomètre	19
N° 2 – Production annuelle française de nanomatériaux manufacturés en 2008	37
N° 3 – Nombre des produits contenant des nanos.....	37
N° 4 – Les financements par l'État français de 2001 à 2005 exprimés en millions d'euros	59
N° 5 – Les principaux acteurs des nanotechnologies....	60
N° 6 – Les publications scientifiques.(Pourcentage d'articles publiés pour la période 1991-2007).....	62
N° 7 – Maladies associées à l'exposition à des nanoparticules.....	81
N° 8 et n° 9 – Échantillons de la variété des formes de nanoparticules	83
N° 10 – Prévisions sur le marché des miroirs "intelligents" (2013-2020)	95
N° 11 – Prévisions sur les OLED (diodes électroluminescentes organiques) à base de nanos (2013-2020)	96
N° 12 – Prévisions sur les OLED à base de bioplastiques (2013-2020)	96
N° 13 – Marché mondial des nanotechnologies.....	97
N° 14 – Sept nanomatériaux dans dix secteurs.....	133

INTRODUCTION

NANORÊVES

Les nanotechnologies fascinent. Dans un premier temps, j'ai moi-même été stupéfié par leurs prouesses : elles sont à l'origine de matériaux aux propriétés extraordinaires, des produits cent fois plus résistants que l'acier et six fois plus légers, plus conducteurs ou plus isolants que tous ceux connus à ce jour, plus résistants à la traction, au feu, au froid ou à l'abrasion... Bref, elles paraissent miraculeuses. Les nanotechnologies¹ ont la particularité d'estomper les frontières de la physique, de la chimie et de la biologie. À travers elles, les sciences vont se fondre en une seule, prédisent les ingénieurs. Ils nous promettent un "big-bang" technico-scientifique. Mais devant les choses fascinantes, il faut garder son sang-froid.

J'ai entrepris cette enquête pour savoir si oui ou non les nanos représentent un danger pour le vivant. Il m'a semblé nécessaire d'examiner d'abord l'histoire de cette course folle des industriels pour laquelle les gouvernements ne voulaient pas être en reste et de pénétrer dans les coulisses des décisions. L'enjeu est financier, bien sûr, et nous verrons combien il pèse, mais pas seulement. Chacun cherche à devenir le leader de cette technologie de pointe, et nous allons voir que le volet militaire y joue un rôle considérable, à l'instar de ce qui a fait la fortune du nucléaire.

1. Pour les termes savants, se reporter au glossaire en fin du volume, p. 191.

Les nanotechnologies sont entrées dans nos vies en catimini. Nous voilà devant le fait accompli. Les nanomatériaux sont ajoutés dans de nombreux aliments pour leur donner des saveurs et des textures inédites, dans des cosmétiques pénétrant plus en profondeur sous la peau, dans des textiles "intelligents", des produits de construction se moquant des intempéries, des fours anéantissant les graisses, des articles sportifs plus souples et plus résistants... Les firmes pharmaceutiques les intègrent aussi de plus en plus dans les pansements et promettent des médicaments censés traverser toutes les barrières organiques comme des vaisseaux intergalactiques pour apporter leur précieux chargement dans les "cellules cibles".

Peu d'entre nous savent qu'environ 2000 applications différentes sont déjà commercialisées. Séduits par le marketing vantant les performances des produits, nous ignorons qu'elles sont dues à la présence de nanomatériaux. Encore rares en effet sont ceux qui ont pris conscience de l'invasion de notre quotidien par les nanotechnologies. L'étiquetage ne les signalait pas encore en 2013, les lobbies industriels arguant qu'ils n'étaient pas encore prêts et les instances européennes accumulant les retards.

Dans cette situation, il est devenu urgent de connaître les risques pour notre santé. Pour y parvenir de façon sérieuse, il a fallu enquêter, creuser, trouver des documents, remonter aux sources vers des études peu divulguées, des rapports d'assureurs, des avertissements restés discrets. Il est vrai, les enjeux économiques sont non seulement gigantesques mais cachent souvent aussi de vastes opérations de détournements et de mensonges.

Nous allons voir que, très tôt, les États ont dépensé des sommes exorbitantes. Dès les années 1980, des pays européens ont lancé des programmes de subvention pour la recherche et le développement des nanos. Outre-Atlantique, à la fin des années 1990, Bill Clinton et Al Gore mettaient sur pied la National Nanotechnology Initiative (NNI), un énorme programme de subventions annuelles aux industries pour "ne pas rater le tournant historique le

plus impressionnant de tous les temps". Ils débloquaient près d'un demi-milliard de dollars pour l'année 2000, et ce n'était qu'un début. Les grands groupes économiques (Procter & Gamble, IBM, Coca-Cola, Danone, Total, Areva et cent autres) se sont lancés à corps perdu...

Cette enquête nous mènera au cœur des laboratoires de toxicologie et des instances de santé publique. Chose incroyable : en France, des organismes publics ont mis en garde les responsables politiques dès 2004, sans résultat. Et des scientifiques tiraient l'alarme même avant.

Les nanoparticules les plus utilisées (nanotubes de carbone, nano-argent, nanotitane...) se révèlent être de redoutables toxiques qui provoquent des mutations génétiques, des cancers... Les nanotubes de carbone peuvent même provoquer des perturbations neuronales et des mésothéliomes, ces cancers de la plèvre qui jusqu'ici étaient essentiellement causés par l'amiante.

Comment en sommes-nous arrivés là? Je me suis penché sur les procédés dont les lobbies ont usé pour engluier les autorités et convaincre les organismes publics de participer à la course aux nanos sans s'inquiéter. Ce sont leurs actions, leurs pressions conjuguées sur fond de complaisance qui ont rendu possible cette précipitation, ce déchaînement qui menace chaque jour d'exploser en causant d'incalculables dégâts.

Nous aborderons aussi les leçons qu'il faut tirer au plus vite de cette affaire qui apparaît comme un nouvel avatar de la vulnérabilité des institutions face au lobbying de plus en plus sophistiqué des groupes industriels. Comment devons-nous agir pour que la santé publique ne soit plus la variable d'ajustement de la logique des marchés?

Les solutions existent, comme nous le verrons au dernier chapitre. Que les États les appliquent ne dépend que de notre mobilisation.

I

LA COURSE AUX NANOS

Tout a commencé par un discours enchanteur sur les pouvoirs que la science allait apporter aux hommes. Il débuta un soir de décembre 1959, à la fin du dîner d'une réunion annuelle de la Société américaine de physique : un chercheur déjà connu pour son originalité, Richard P. Feynman, annonçait la perspective d'une manipulation de la matière atome par atome qui lui apporterait des propriétés extraordinaires. Il affirmait que ce n'était pas une simple vue théorique et que les possibilités techniques pour le réaliser étaient à portée de main...

Mais l'intervention du physicien ne fut réellement comprise, dit-on, que par de rares initiés. Certains convives auraient même cédé à l'hilarité en pensant que leur confrère se livrait à un exercice d'humour pince-sans-rire mêlant à des détails d'ingénierie un peu abscons des métaphores comiques et des visions de science-fiction. Chacun était venu pour les agapes mondaines et les interventions de circonstance se devaient d'être dans la tonalité, comme semblait d'ailleurs le confirmer le titre cocasse de son discours "Il y a beaucoup de place en dessous" et son développement amusant sur la possibilité de publier bientôt toute l'encyclopédie Britannica sur une tête d'épingle. Et même de faire tenir la bibliothèque du Congrès avec ses 9 millions de volumes, la

1. Richard P. Feynman, "There's plenty of room at the bottom", discours du 29 décembre 1959 (disponible sur Internet).

bibliothèque du British Museum avec ses 5 millions d'ouvrages et la Bibliothèque de France dans un tout petit espace.

De fait, cette plaisante évocation du chantier de l'infiniment petit fut à peine écoutée et tomba dans l'oubli, bien que le physicien ait annoncé en clôture qu'il offrirait une récompense de 1 000 dollars à chaque chercheur qui contribuerait aux prochaines avancées sur ce chemin. Feynman publia quelques textes sur le même sujet, sans rencontrer plus d'écho. Depuis, on a souvent répété qu'il était trop en avance sur son temps pour être compris de ses pairs, mais c'est peut-être confondre incompetence et désintérêt. Les physiciens, attachés à leur propre chantier, ne pouvaient pas sérieusement penser à modifier leur centre d'intérêt. En tout cas, certainement pas pour 1 000 dollars.

ERIC DREXLER, PROMÉTHÉE PROMOTEUR

Même après avoir fondé la chimie quantique et reçu le prix Nobel de physique, en 1965, pour ses mises en forme théoriques des champs et des particules élémentaires (ce qui montre qu'il était tout de même compris par certains), la prophétie de Feynman resta dans l'ombre. Ce n'est qu'en 1986 que son petit discours digestif de 1959 allait être porté au pinacle. C'est l'ingénieur Eric Drexler qui en a pris l'initiative pour promouvoir les nanotechnologies dans son ouvrage, paru en 1986, *Engines of Creation – The Coming Era on Nanotechnology*¹, hissant Feynman au rôle suprême de précurseur et exploitant du même coup la réputation du prix Nobel.

Dans son livre, Eric Drexler annonce la révolution qu'allait apporter le pouvoir d'agencer des atomes un à un grâce aux sophistications des technologies de visualisation et de manipulation atomique². Il détaillait les innombrables

prouesses que la nanoscience allait permettre d'accomplir dans tous les domaines, tout particulièrement grâce aux ressources de la physique quantique. Il évoquait aussi des nanomachines capables de se reproduire elles-mêmes sur le modèle de cellules vivantes autorégulées, voire couplées avec des composants biologiques. Les bouleversements industriels toucheraient les secteurs du bâtiment, des cosmétiques, des produits pharmaceutiques, de l'informatique, de la motorisation, des aliments, de l'agriculture, du textile, des carburants, de la métallurgie et de la plasturgie...

Jamais un progrès technologique n'avait ouvert autant de perspectives aux chercheurs et, soulignait-il, à l'humanité en général : les nanos permettraient selon lui de substituer aux produits polluants et aux coûts de production dispendieux des matériaux respectueux de l'environnement tout en étant inusables et beaucoup plus performants sur le plan énergétique, de faire reculer la pauvreté et les maladies... Les promesses médicales étaient les plus hallucinantes : les médicaments du "futur proche" allaient pouvoir être distribués directement au cœur des organes et des cellules malades, des "molécules-machines" ou "nano-robots" allaient circuler dans nos vaisseaux sanguins pour surveiller et réparer n'importe quelle lésion, aussi grave ou microscopique soit-elle, et même plonger dans notre ADN pour corriger les aberrations génétiques ou les mutations malheureuses, stopper la prolifération des tumeurs... Drexler évoquait même la perspective plus lointaine d'entraver le processus du vieillissement et de prolonger indéfiniment la vie.

Un véritable rêve. Une utopie technoscientifique comme on n'en avait plus revu depuis Jules Verne. Même le nucléaire, qui a suscité les espoirs les plus fous (disparition du chômage, énergie gratuite pour tous...), avant de révéler sa face grimaçante, n'éveillait pas autant d'exaltation.

Déployant les possibilités inouïes que la nanoscience offrait à l'homme, bien que redoutant aussi les risques d'une exploitation mal cadrée, Drexler affichait une volonté d'optimisme bien accrochée.

1. Eric Drexler, *Engins de création. L'avènement des nanotechnologies*, traduit par Marc Macé et Thierry Hoquet, Vuibert, 2005.

2. Le microscope à effet tunnel, la photolithographie et le microscope à force atomique.

Figure éminente de la cybernétique, Marvin Minsky, professeur au Massachusetts Institute of Technology (MIT) où il dirigeait le Laboratoire d'intelligence artificielle dont Drexler était membre, a qualifié le livre d'une formule définitive : "Ambitieux et inventif, il est surtout techniquement irréprochable¹." Il voyait dans l'invention des nanotechnologies un apport pour l'humanité qui serait au moins aussi décisif que l'invention des métaux et la maîtrise de l'électricité. L'histoire officielle a fait de l'ouvrage et de son auteur le grand tournant qui a révélé les nanotechnologies non seulement au grand public mais aux politiques et aux industriels eux-mêmes. On la retrouve dans la majorité des publications retraçant l'épopée des nanos, y compris dans les manuels universitaires destinés aux ingénieurs. Chacun se contente généralement de reprendre le récit de cette naissance et néglige de se pencher sur le rôle des groupes industriels applaudissant cet opéra lyrique à la gloire des nanotechnologies.

Des nanos sur lesquelles des ingénieurs travaillaient en fait depuis les années 1970. De fait, il y avait déjà du monde à la besogne "en dessous", y compris derrière l'enthousiaste Eric Drexler...

NANOS, NANOS...

Le monde des nanotechnologies s'est entouré d'un jargon composé d'innombrables mots nouveaux. Les termes techniques se marient aux métaphores et aux néologismes populaires, avec des définitions plus ou moins bien fixées qui font parfois l'objet de batailles sourdes, cachant des enjeux idéologiques, des chausse-trapes et même des tours de passe-passe glissés jusqu'au cœur de la législation, comme nous allons le voir.

1. Marvin Minsky, préface d'*Engins de création*, op. cit., p. xi.

Certains emploient le mot **nanoparticules** comme un synonyme de **particules ultrafines**, dont les dimensions sont aussi nanométriques. Ils entretiennent de la sorte une confusion entre les **nanoparticules**, lesquelles sont volontairement créées, et les **particules ultrafines**, qui sont issues d'événements naturels (telles les fumées volcaniques) ou d'activités industrielles polluantes (combustion de carburants, fumées d'usines...). Cette confusion linguistique a un effet regrettable : elle met sur un même plan les particules *intentionnelles* et les *non intentionnelles*, ce qui tend à banaliser les nanoparticules et à gommer au passage la notion de *risque évitable*. On retrouve cette confusion chez ceux qui, négligeant toute culture de santé publique et faisant flèche de tout bois, déclarent que les nanos nous entourent déjà depuis toujours et que l'humanité y a survécu. Pour autant, les études toxicologiques sur les particules ultrafines, qui sont nombreuses depuis des décennies, apportent des informations qui auraient dû conduire les autorités à des mesures de prévention contre les nanos dès les années 1980¹.

L'expression "**nanos**" (issue du préfixe "nano" qui signifie étymologiquement "nain") est devenue familière aux médias autant qu'au milieu scientifique et elle s'est chargée de multiples sens. Elle peut désigner les **nanomatériaux**, les **nanoparticules**, les **nanotechnologies**, les formulations chimiques comportant au moins une dimension de l'ordre du **nanomètre**...

Nanomatériaux : Matériaux composés en partie ou totalement de nanoparticules ou nano-objets qui leur confèrent intentionnellement des propriétés optimisées ou apportées par leur dimension nanométrique. Ils sont constitués de particules libres

1. Cf. *infra*, p. 81-84.

ou stabilisées, sous forme de cristaux, de fibres, de lamelles, de tubes... Le Règlement européen qui vise à encadrer la commercialisation des nanomatériaux a redéfini ce terme d'une façon restrictive, en le limitant à ceux qui sont "insolubles ou biopersistants". En outre, la Commission européenne a proposé de ne pas inclure dans la définition ceux qui comportent moins de 50 % de nanoparticules.

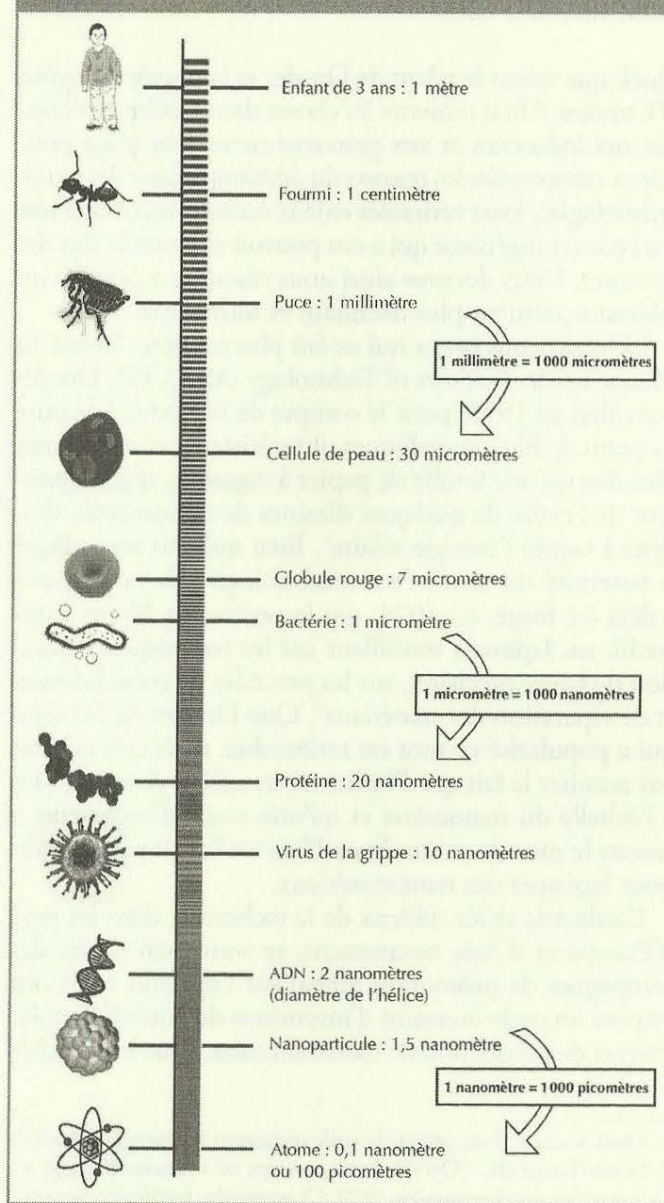
Nanomètre : Un milliardième de mètre (voir illustration n° 1).

Nanoparticules : Particules manufacturées dont le diamètre est inférieur à 100 nanomètres (nm). Elles sont produites intentionnellement pour exploiter leurs propriétés physicochimiques.

Nanotechnologies : Techniques qui permettent de manipuler la matière à une échelle fixée par convention entre 1 et 100 nm.

Particules ultrafines (Pufs) : Particules produites de façon non intentionnelle, dont le diamètre est inférieur à 100 nm. Elles sont issues soit de sources naturelles (feux de forêt, volcans...), soit de polluants (Pufs de diesel issues des transports routiers, Pufs de métaux issues de la sidérurgie et des incinérateurs, Pufs organiques provenant de la plasturgie, rejets des installations de chauffage, fumée de tabac...). L'état des connaissances toxicologiques et épidémiologiques sur les Pufs, en particulier sur leurs propriétés délétères et leur capacité d'intrusion dans le cerveau où elles causent de nombreux dommages, aurait dû justifier des mesures de prévention immédiates.

Illustration n° 1. Du mètre au nanomètre.



Source : Robin Delaville.

LES NANOTECHNOLOGIES NE SONT PAS TOMBÉES DU CIEL

Quels que soient le talent de Drexler et la portée d'*Engines of Creation*, il faut remettre les choses dans l'ordre et redonner aux industries et aux gouvernements leur place pour mieux comprendre les ressorts du développement des nanotechnologies, leurs véritables enjeux économiques et le rôle joué par cet ingénieur qui a cru pouvoir orienter le sort des hommes. Nous devons ainsi nous résoudre à peindre un tableau nettement plus déchirant et tourmenté.

Commençons par ce qui ne fait plus mystère. Formé au Massachusetts Institute of Technology (MIT), Eric Drexler travaillait en 1975, pour le compte de la NASA, à la mise au point de films métalliques ultrarésistants et infiniment plus fins qu'une feuille de papier à cigarette, d'une épaisseur de l'ordre de quelques dizaines de nanomètres, destinés à capter l'énergie solaire¹. Bien qu'il ait revendiqué la paternité du terme "nanotechnologie", le néologisme a déjà été forgé, en 1974, par le professeur Norio Taniguchi, un Japonais travaillant sur les techniques d'abrasion de haute précision, sur les procédés de consolidation et de séparation des matériaux². Que Drexler ait été celui qui a popularisé ce mot est indéniable, mais cela ne doit pas occulter le fait que l'industrie travaillait déjà avant lui à l'échelle du nanomètre et qu'une noria d'ingénieurs à travers le monde et aux États-Unis ne l'avait pas attendu pour façonner des nanomatériaux.

L'industrie et les milieux de la recherche, dans les pays d'Europe et d'Asie notamment, se sont bien passés des campagnes de promotion emballant l'opinion et ils ont imposé un cycle incessant d'inventions de nouvelles molécules et de production de nanomatériaux. Que les marchés

1. Dans le cadre d'un projet de voile recourant à l'énergie du soleil.

2. Norio Taniguchi, "On the basic concept of « nanotechnology »", *Society of Precision Engineering*, 1974. Cf. www.who.int/ifcs/documents/forums/forum6/ppt_nano_gvisser.pdf

lucratifs d'avenir reposent sur l'ingénierie exploitant les ressources de la chimie et de la physique combinées était une évidence depuis un siècle dans les secteurs de la plasturgie, de la métallurgie, du médicament et de la chimie.

De même, les industries de l'électronique et de l'informatique n'avaient pas besoin qu'on veuille les en convaincre ni qu'on les sensibilise aux moyens de réduire toujours la dimension des supports d'information. International Business Machines (IBM), la multinationale américaine qui possédait la majorité du marché de l'électronique et qui était la première valeur boursière au monde durant les années 1970 et 1980, était aux avant-postes. Raison pour laquelle le groupe avait investi dans l'invention du microscope à effet tunnel, réalisé en 1981 par ses ingénieurs, Gerd Binnig et Heinrich Rohrer, dont les améliorations ont permis de manipuler les atomes individuellement et de concevoir des agencements *bottom-up* (de bas en haut) grâce à un champ de force quantique. Avec le microscope à effet tunnel d'autres chercheurs de la firme disposeront, en 1989, 35 atomes de xénon sur une surface de nickel pour écrire le signe IBM, qui sera photographié et diffusé dans tous les médias. C'est justement en 1986, année de la parution d'*Engines of Creation*, que le jury du Nobel décerna le prix aux deux chercheurs d'IBM pour l'invention du microscope à effet tunnel.

Avec ses myriades d'entreprises partenaires dans le monde, IBM a été l'un des fers de lance de la recherche et du développement des nanotechnologies. Le groupe allait être à l'origine d'innombrables applications nanos en informatique et en microélectronique, avec autant de brevets à la clé, dont le récent "mille-pattes", constitué de milliers de pattes en silicium de 10 nm de largeur, assurant un stockage de 125 Go sur un espace de 2 millimètres sur 3, et de très hauts débits de transfert¹. Le groupe n'était d'ailleurs pas le seul titan sur le chantier de Lilliput... Par ailleurs, de nombreux autres ingénieurs élaboraient déjà

1. Le "mille-pattes", surnom du *micro-electrical-mechanical system* (MEMS) d'IBM, vise à remplacer les disques durs.

des nanomatériaux avec divers procédés de broyage de la matière pour obtenir des Pufs de dimension nanométrique, sans avoir jamais entendu ni lu le mot nanotechnologies.

Le discours de Feynman de 1959 que Drexler a ressorti opportunément dans son ouvrage de 1986 ne procédait pas d'une "vision de génie", contrairement à ce qui sera souvent répété. Même s'il le faisait avec son aisance habituelle, de saisissantes intuitions et une remarquable culture scientifique, Feynman tirait les conclusions des perfectionnements de la biologie et de l'ingénierie industrielle qui, à la fin des années 1950, pouvaient facilement laisser prévoir des possibilités de travailler à l'échelle atomique. En fait, Feynman n'avait pas de dons prophétiques du tout et le célébrer tant ne fait que cacher la forêt des marchés industriels derrière sa "vision". En faisant l'hagiographie des "grands esprits", on donne l'illusion que les nanotechnologies sont le fruit de génies inspirés par la lumière du ciel des idées. Comme si l'aventure des nanos était le simple résultat du progrès des connaissances. Certes, cette belle histoire fascine, tient en haleine et défie ses acteurs... Mais, de fait, elle a fonctionné – et fonctionne encore – comme du *storytelling*, ce procédé de marketing qui consiste à dérouler un récit pour distraire les foules et les embobiner. Eric Drexler, qui a lui-même abondamment versé dans la croyance que les nanotechnologies allaient accomplir le grand destin de l'humanité, a contribué à cette narration avec passion et sans aucun doute avec beaucoup de sincérité. Il se fera d'ailleurs rattraper par des réalités plus triviales et des acteurs moins romantiques, mais n'anticipons pas.

LOBBYING ET EFFET D'AUBAINE ÉCONOMIQUE

1986 fut aussi l'année où symposiums et conférences vantant les perspectives qu'offrait la nanoscience ont commencé à se multiplier un peu partout aux États-Unis. En particulier de grands raouts organisés par le Foresight

Institute¹, une organisation créée par Eric Drexler et son épouse Christine Peterson pour, selon ses statuts officiels, veiller au développement des recherches nanotechnologiques et à ses bonnes orientations. Autant de manifestations coûteuses qui soulèvent la question de leur financement. Mais gardons-nous d'y répondre avant d'avoir glané des éléments d'enquête, versons-la dans notre panier à provisions et poursuivons nos observations...

Les articles de presse et les documentaires à la gloire des nanos allaient fleurir, témoignant du même enivrement. Les pouvoirs publics commençaient aussi à débloquer des subventions pour développer les nanotechnologies, quoique "dans une grande dispersion", comme le notait un certain Mihail Roco, conseiller principal pour la nanotechnologie à la National Science Foundation américaine.

Toujours en 1986, l'Europe participait à l'élan général. Le ministère du Commerce et de l'Industrie du Royaume-Uni officialisait un programme national de recherche sur les nanotechnologies² avec le National Physical Laboratory. Dans la foulée, les Britanniques lançaient une revue entièrement consacrée au sujet – *Nanotechnology* – sous l'égide de l'Institute of Physics, leur grande association de physique forte de 40 000 membres et du soutien de l'industrie, conseillant les chercheurs sur leurs orientations professionnelles et la gestion de leur carrière. Bientôt, les agences gouvernementales et les institutions scientifiques les rejoignaient efficacement pour placer la Grande-Bretagne en position favorable dans la course³.

Le ministère allemand de l'Éducation et de la Recherche ouvrit des filières de formation aux nanotechnologies dès

1. Que l'on traduit par Institut de la prévoyance ou Institut de la prospective.

2. The National Initiative on Nanotechnology.

3. The Technology Strategy Board, Biotechnology and Biological Sciences Research Council, Natural Environment and Research Council, Engineering and Physical Sciences Research Council...

les années 1980. Parallèlement, les institutions de l'Union européenne recevaient les assauts de plus en plus organisés des lobbyistes, ceux de l'European Round Table (qui regroupe les plus grands industriels de l'UE), et en particulier les représentants du Conseil des fédérations d'industries chimiques (CEFIC), appuyé par IBM, Capgemini, Microsoft, Syntech Informatique, Sopra Group (multinationale du conseil et des services en technologies de l'information comptant 11 000 employés et un chiffre d'affaires de 1 milliard d'euros)... Objectif : préparer le cadre de futurs financements des nanotechnologies et leur montée en puissance. Les équipes de chercheurs et les associations d'écoles d'ingénieurs du vieux continent étaient eux-mêmes à la manœuvre auprès des institutions publiques et des grands groupes, conscients des nombreuses applications possibles et de l'opportunité de multiplier les brevets, c'est-à-dire de faire de l'argent. L'agroalimentaire se présentait aussi sur les rangs. Les consommateurs allaient bientôt manger à leur insu les premiers aliments intégrant des nanos manufacturées, du chocolat et des bonbons aux nanoparticules de dioxyde de titane cachées sous le code E171, du ketchup au dioxyde de silicium, des salades lavées avec des solutions au nano-argent... Le tout sans la moindre autorisation officielle et sans recul sur les effets toxicologiques. L'Union européenne commença alors à verser des millions d'euros, puis une trentaine de millions d'euros chaque année aux projets concernant les nanos, sans les hiérarchiser en fonction de leur nécessité¹. Bientôt, le budget annuel pour les nanos allait être multiplié par dix, vingt... Pour la seule année 2001, le financement de la France allait être de 143 millions d'euros. Puis de 167 millions d'euros pour l'année suivante.

Toutes les pièces de l'échiquier avançaient en ordre groupé. Ce n'était pas un complot, c'était juste un mouvement d'ensemble avec ses "relations publiques" bien organisées, avec ses leaders, ses lobbies et ses réseaux conscients de

1. Cf. le quatrième programme cadre couvrant la période 1994-1998.

se déployer de façon synchronisée. Une coalition de groupes d'intérêts sachant se liguer pour développer des aubaines économiques et pour faire plier les politiques à leur avantage, quitte à court-circuiter la réglementation sanitaire. Mais avouons-le, si ce n'était pas un authentique cas de complot, alors autant rayer le verbe comploter du vocabulaire.

Ainsi, dans tous les pays du monde, les entreprises se positionnant sur les nanos, souvent les mêmes multinationales, prenaient l'argent public en arguant de la compétition internationale et préparaient leurs futurs gains sur ces marchés de rêve.

RÊVES ET CONSTRUCTION DU CONSENSUS

Avec *Engines of Creation*, Eric Drexler n'allait pas seulement intéresser le public américain à cette nouvelle technologie mais jeter les bases d'un consensus quasi frénétique autour d'une nouvelle incarnation du "progrès scientifique". Il faut lire cet ouvrage pour prendre la mesure de son impact et de l'ampleur des mythes qu'il a réveillés. Les dernières lignes en donnent une petite idée : "Des ères géologiques d'évolution et des millénaires d'histoire ont préparé ce défi et le proposent tranquillement à notre génération. Les années qui viennent seront le tournant le plus important dans l'histoire de la vie sur Terre. Conduire la vie et la civilisation à travers cette transition est la noble tâche de notre temps. Si nous y parvenons – et si vous survivez – alors vous serez peut-être honorés par une liste sans fin de questions provenant de vos adorables arrière-petits-enfants : « Comment c'était quand tu étais enfant, avant la Grande Découverte ? », « Qu'est-ce que ça faisait de vieillir ? » et « Qu'as-tu pensé quand tu as su que la Grande Découverte allait venir ? »"

Alors que l'aura des idées de "progrès" et de "science" s'était singulièrement dégradée aux yeux d'une opinion échaudée par les revers du développement technico-industriel

1. Eric Drexler, *Engins de création*, op. cit., p. 301.

(Hiroshima, prolifération des armes nucléaires, pollutions, multiplication des crises sanitaires liées aux produits innovants¹, coût exorbitant des programmes de conquête spatiale et d'armement...), l'utopie des nanos allait réanimer la mythologie prométhéenne.

Drexler allait ainsi contribuer à faire accepter à l'opinion le principe d'un vaste financement public des nanotechnologies. Un financement très supérieur aux subventions habituelles, que les grands industriels avaleront avec une gourmandise sans fin.

Les médias, reprenant avec zèle les promesses sensationnelles de la nanoscience, soufflèrent sans retenue sur la forge des rêveries fascinantes déclenchées par Drexler. Bientôt, chacun d'eux reprenait les formules selon lesquelles l'heure était enfin venue de recréer la matière et le monde à notre guise. En fait, la force des nanos auprès de l'opinion publique sera d'incarner soudainement la gigapromesse de réaliser nos attentes les plus folles. La première performance des nanos est conceptuelle : elles font écho à toutes nos aspirations immémoriales, en particulier d'échapper à l'usure du temps et de reculer l'échéance de la mort. Le concept semble pouvoir réaliser le rêve d'une science devenue toute-puissante permettant aux hommes d'accéder aux secrets des dieux et de chevaucher à nouveau l'ensemble des espoirs que les avancées du savoir ont pu faire naître au cours des siècles précédents².

1. Le retentissement des accidents nucléaires survenus sur le sol américain (Three Mile Island et d'autres) et des scandales provoqués par les empoisonnements chimiques de la population tels que l'affaire Love Canal, celle du chrome VI (affaire Erin Brockovich) et bien d'autres, sans compter l'énorme dossier de l'amiante.

2. À ce sujet, voir le livre de la sociologue Marina Mastrutti, *Imaginaires des nanotechnologies. Mythes et fictions de l'infiniment petit*, Vuibert, 2011. Hélas, malgré un beau tour d'horizon des récits, des emballlements et des craintes suscités par les nanotechnologies, l'auteur n'aborde pas l'état réel des connaissances toxicologiques et se prive ainsi d'une prise en compte des études sanitaires qui sont pourtant des facteurs d'inquiétude et d'évolution des représentations.

On a vu qu'avec Drexler, les nanos sont apparues également comme une source de promesses médicales inespérées, jetant de nouveaux fondements pour une "médecine prédictive et préventive". L'idée "visionnaire" de transformer l'organisme à volonté pour accroître les performances "humaines" y a même trouvé des bases plus solides. L'évolution du vivant, aussi bien que celle de la matière inerte, allait enfin pouvoir être "planifiée par l'homme"! Mais qui s'intéressait vraiment au sens que le mot "homme" pouvait bien recouvrir dans ce contexte, et qui allait examiner les éléments décisifs qui présideraient aux orientations de cette "planification"?

L'effet panacée de ces perspectives engendrait lui-même un effet d'aubaine économique considérable. Vieille synergie bien connue des firmes pharmaceutiques et des fabricants de cosmétiques qui, pour le coup, emballait aussi d'innombrables équipes de recherche, promptes à vendre des projets d'étude et d'expérimentation sur les utilisations potentielles des nanos.

Pour enfoncer le clou et tenter de convaincre ceux qui ne le prenaient pas au sérieux, Drexler allait ressortir un gros ouvrage nettement plus technique : *Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing and Computation*¹. Le livre a d'ailleurs divisé les scientifiques sur les nouveaux procédés de production des nanos qu'il préconisait. Drexler défendait toujours la méthode *bottom-up*, c'est-à-dire l'assemblage atome par atome plutôt que la démarche qui procède par la division de la matière (Drexler considérait cette dernière comme polluante et peu créative, comme nous allons le voir plus loin). Cette publication a permis à l'ingénieur de s'associer le concours des décideurs politiques, officiellement à l'issue d'un exposé devant une commission de sénateurs américains réunie par Al Gore sur le thème des "nouvelles technologies pour un monde durable". Dans cet exercice, Drexler se révélera habile lobbyiste, mettant en

1. Eric Drexler, *Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation*, John Wiley & Sons, 1992.

avant l'espoir de retours sur investissements exubérants et même les "vertus écologiques des nanos" censées réduire la plus grande part des pollutions. Il n'oubliera pas l'argument de la compétition internationale, évoquant le fait que le Japon avait déjà lancé un grand programme de recherche dans ce domaine pour placer son industrie en leader.

Sortant des coulisses, un vaste groupe de pression américain rassemblant de grandes entreprises rejoindra aussitôt Drexler au grand jour et trouvera l'appui du gouvernement qui lancera un programme d'investissement colossal sur les années à venir : 12 milliards de dollars. L'un des plus gros paris scientifiques et financiers de toute l'histoire des États-Unis. Les financements publics augmenteront chaque année. La National Nanotechnology Initiative (NNI), pilotée par Mihail Roco, encadrera ces financements et leur attribution. Leur progression a été vertigineuse : alors qu'un demi-milliard de dollars était débloqué pour l'année 2000, on verra le montant annuel passer à 1,5 milliard en 2008. En 2013, l'addition de la NNI s'élevait finalement à 16 milliards de dollars en douze ans¹. Et le président Obama ouvrait un nouveau volet de 1,7 milliard pour 2014.

Entre-temps, de nombreuses revues spécialisées bâties pour avoir un gros "facteur d'impact"² ont été fondées pour mettre en valeur les conquêtes de la nanoscience auprès de tous les milieux scientifiques, aussi bien aux États-Unis qu'en Europe³. Ainsi le *Journal of Nanoparticle Research*, une publication internationale lancée en 1999, s'est rapidement

1. John F. Sargent Jr, *The National Nanotechnology Initiative: Overview, Reauthorization, and Appropriations Issues*, Congressional Research Service, Report, 29 août 2013.

2. Le facteur d'impact correspond au nombre de citations des articles de la revue par d'autres publications.

3. Entre 1991 et 2000 : *Journal of Vacuum Science and Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures*, *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, *Journal of Nanoparticle Research*, *Nano Letters*, *Precision Engineering – Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology*...

imposé sur tous les continents. Il n'est pas indifférent de savoir que sa rédaction a été placée sous l'autorité de Mihail Roco, grand promoteur des nanotechnologies, récusateur de toutes les craintes énoncées par Drexler et d'autres, par ailleurs chef d'orchestre de la R&D américaine des nanos. Une autre publication, *Nano Letters*, a été créée par l'American Chemical Society, le lobby américain de la chimie, l'une des organisations les plus puissantes d'Amérique.

On le voit, il serait dommage de retracer l'histoire des nanos sans se pencher sur les opérations de lobbying qui les ont portées. Dès l'origine, celles-ci se révèlent nombreuses en coulisses, notamment derrière les apparences qui donnaient l'impression que Drexler et les grands leaders d'opinion avançaient librement au-devant de la scène et défendaient honnêtement leurs idées scientifiques. Or, des lobbies de poids accompagnaient l'entrée en piste de l'ingénieur dans les médias et lui apportaient leur logistique. Dès 1986, parallèlement à la promotion de son ouvrage suscitant l'enthousiasme, ce lobbying s'est déployé en particulier avec la fondation du Foresight Institute, présenté comme un *think tank* "à but non lucratif" censé "servir de guide aux nouvelles technologies afin d'améliorer la condition humaine", y compris pour "développer les échanges et la discussion critique".

Cette éthique affichée, assortie de belles prétentions philanthropiques, contribuera à institutionnaliser l'Institut. Les médias américains le regarderont avec sympathie comme le défenseur des valeurs nobles de Drexler. Christine Peterson, épouse de Drexler et cofondatrice de l'Institut, membre du conseil d'administration (elle en deviendra

1. Il est bon de rappeler que les *think tanks* se présentent généralement comme étant "à but non lucratif". Mais, en creusant un peu, on découvre le plus souvent que leur clientèle et leurs financeurs sont de grandes entreprises ou des partis politiques "généreux". Une générosité qui, de fait, ne leur laisse guère d'indépendance, comme je l'ai montré avec Olivier Vilain dans *Un pouvoir sous influence : quand les think tanks confisquent la démocratie*, Armand Colin, 2011.

plus tard la présidente), ne fait pas qu'organiser des conférences conviviales sur le sujet mais diffuse largement des rapports présentés comme indépendants. L'Institut décerne aussi des prix pour faire connaître les innovations expérimentales et théoriques en ce domaine, tels les "prix Feynman" (attribués à plusieurs lauréats chaque année avec une belle campagne de presse à la clé), et le "Grand Prix Feynman" assorti d'une récompense de 250 000 dollars. Une somme rondelette qui a suscité ma curiosité, imaginant qu'elle ne sortait pas des poches du couple. Je décide alors d'interviewer la responsable.

Christine Peterson n'aime guère se répandre sur le sujet. Devant les questions, elle se contorsionne et déclare que "la fondation est financièrement fragile". Mais elle est bien obligée de reconnaître que cet argent provient d'une nuée de sociétés regroupant des mastodontes du CAC 40 et de jeunes entreprises parmi les mieux positionnées dans la course aux nanos, à la miniaturisation et aux nouveaux composants électroniques. Une perfusion qui permet de se faire une idée plus précise de l'"objectivité" des analyses du Foresight Institute et de regarder son "indépendance" avec quelques doutes. Pour paraphraser Feynman, on peut dire qu'il y a effectivement "beaucoup de place en dessous" et d'ores et déjà beaucoup de monde. Qu'on en juge : Apple, Ford, Intel, Mitsubishi et Xerox font partie des sponsors, tout comme Accelrys, Analytiq, Cambridge Scientific Products, AMP, ARCO, Autodesk, Beckman, Digital Instruments Inc., Draper Fisher Jurvetson, Fenich & West LLP, Foley, Gotha & Manges, Howard Rice Nemerovski Canady Falk & Rabkin, Jeol, Scientificamerican.com, Manatt, Molecular Manufacturing Enterprises Inc., NanoGram Corporation, NanoDevices, National Institute of Standards and Technology, nanoTITAN, Park Scientific Instruments, Schrödinger, SGI, Sughrue, Sun Microsystems, Texas Nanotechnology Initiative, Tripos, TopoMetrix, Veeco, Weil, Zyvex... On

1. Entretien, octobre 2013.

y retrouve même des instituts de physique d'autres pays, comme celui de Grande-Bretagne.

Cette légion de partenaires a permis l'organisation d'innombrables conférences et la publication incessante d'articles du Foresight Institute. Les "mécènes" se sont multipliés au fil des années, élargissant encore leur liste impressionnante. Des fondations et des universités sous contrats avec les multinationales qui investissent dans les nanos lui apporteront une image d'honorabilité supplémentaire : Fondazione ELBA, Institute for Molecular Manufacturing, University of Southern California, Washington University in St. Louis, University of Wisconsin-Madison¹...

Son vaste réseau s'est adjoint de nombreux médias partenaires², de même que des groupes industriels qui ne se contentent pas d'abonder l'Institut mais participent directement à ses décisions. On retrouve leurs représentants au sein de la direction, tels que Jamie Dinkelacker, au poste de directeur général de la section prospective du Foresight Institute. Cet homme qui se plaît à rappeler dans son CV qu'il "aime jouer au ballon" est directeur principal de l'ingénierie chez Google, et conseiller de Nano-Business Alliance, un lobby réunissant 250 sociétés dont Goldman Sachs, General Electric, Hewlett-Packard, Lockheed Martin, AGFA... Jamie Dinkelacker a été aussi l'un des responsables de la coordination internationale de

1. Citons aussi, parmi les sponsors qui soutiendront l'Institut : Argonne National Laboratory, Carnegie Mellon Computer Science Department, Center for Nanoscale Science and Technology (CNST), Molecular Graphics and Modelling Society, MSC, National Energy Research Scientific Computing Center (NERSC), Stanford Material Science and Engineering, San Diego Supercomputer Center at the University California (USCD), NASA, Mitre, OSC, Royal Melbourne Institute of Technology (RMIT). Et de nouveaux "membres" du Foresight Institute : Digital Instruments & Whitney LLP, Draper Fischer Jurvetson, Foley & Lardner LLP, NanoHoldings, Nanorex, NaturalNano, Nanoscience Technologies, Semi Technology Semi, Sun Microsystems.

2. Nano Apex, Nanovip.com, Arlington Institute, Kurzweil AI.net, World Future Society, Howard Lovy's NanoBot, NanoSIG, Nanotechnology Now.

la recherche d'Apple et d'Hewlett-Packard. Parmi les collaborateurs de l'Institut, on retrouve Lawrence Gasman, qui préside la société NanoMarkets, fournisseur leader de l'analyse du marché des nanomatériaux et des prévisions¹. Et Ted Kaehler, l'un des grands informaticiens d'Apple, ainsi que Stewart Brand², cofondateur de Global Business Network, un cabinet international de conseil en stratégie, appartenant au Monitor Group, qui travaille depuis 1983 pour aider les gouvernements et les entreprises à planifier de grandes orientations économiques et politiques... Une multinationale très attentive aux évolutions des technologies de l'écoute et de l'intelligence économique.

UN BUDGET MONDIALEMENT IMITÉ

La NASA, ardemment intéressée par un soutien public des nanos et connaissant assez bien Drexler pour l'avoir fait travailler dans les années 1970, a rejoint aussi les membres influents du Foresight Institute. Entre autres services, elle fournira à la fondation un de ses lobbyistes chevronnés, Timothy B. Kyger. Ce professionnel de l'influence a notamment travaillé pour Universal Space Lines, une filiale de la NASA. Le journaliste d'investigation Pierre Wolf-Mandroux m'a transmis un document du Sénat américain attestant que le Foresight Institute a rémunéré le lobbyiste 25 000 dollars pour une mission ponctuelle accomplie en 2003³. Année où le premier grand texte de loi sur les nanotechnologies passait devant le Congrès et dédiait plus de 4 milliards de dollars aux acteurs des nanos pour les quatre ans suivants. L'homme est intervenu

1. Cf. *infra*, p. 95.

2. Stewart Brand, connu aux États-Unis pour défendre l'idée que "la technologie peut être bonne pour l'environnement", est aussi un organisateur de conférences pour AT&T Corporation, Royal Dutch-Shell, Volvo...

3. Pièce fournie par le Senate Office of Public Records.

auprès de la Chambre des députés de Washington. Son contrat s'est officiellement terminé le 2 décembre, la veille de la promulgation de cette loi signée par le président Bush, qui ouvrira une ère bénie pour l'industrie des nanos¹. Loi qui comportait d'ailleurs une faiblesse remarquée par certains observateurs : elle ne prévoyait que 3 % seulement du budget pour les recherches concernant leurs nuisances².

Sur ce point, les choses ne feront d'ailleurs que se dégrader au cours des années suivantes. Le budget dépensé en 2006 par la National Nanotechnology Initiative (NNI) consacrera seulement 1 % (soit 13 millions de dollars) à l'évaluation des risques. Un montant qui intégrait les dépenses du National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), du National Institute of Health (NIH) et de l'Environmental Protection Agency (EPA)³.

LA SANTÉ ET L'ENVIRONNEMENT, TRÈS LOIN DERRIÈRE L'ARMÉE

Les premiers gagnants du soutien économique et politique aux nanos sont les industries qui travaillent pour la défense nationale américaine et lui apportent leurs nanotechnologies dans les domaines de l'armement, de l'informatique et de l'électronique militaires. De même, ceux qui fournissent les nanomatériaux de protection de la défense passive et les nouvelles tenues des soldats...

1. Nanotechnology Research and Development Act, 21st Century.

2. Notamment par le président de la Commission pour la science et la technologie de la Chambre des représentants, Bat Gordon, et Andrew Maynard, conseiller scientifique du Project on Emerging Nanotechnologies (PEN).

3. David Rejeski, "National nanotechnology initiative: charting the course for reauthorization", présentation au United States Senate Committee on Commerce, Science, and Transportation, Subcommittee on Science, Technology, and Innovation, 24 avril 2008.

En 2002, le gouvernement américain a alloué au Département de la Défense 31,3 % du budget de la National Nanotechnology Initiative (NNI). Soit 243 millions de dollars sur les 774 millions de la NNI. Ce budget militaire était d'emblée le double de celui consacré à l'énergie ou au commerce, et il était sept fois supérieur à celui de la NASA.

La faible portion consacrée aux risques (entre 1 % et 3 %) semble avoir inspiré les décideurs étrangers puisqu'on la retrouve dans tous les autres pays ayant investi dans les nanos, y compris en France. Un tel mimétisme s'explique en grande partie par la manière dont les industriels présentent leurs besoins aux conseillers politiques et font valoir les enjeux de leur compétitivité. Comme nous l'explique un lobbyiste qui arpente les couloirs de Bruxelles pour une firme française, leur argumentation peut se résumer ainsi : "Tout ce que vous nous enlèverez pour le donner à la prévention retardera l'Europe par rapport aux concurrents internationaux."

Il était prévisible qu'une si faible proportion se traduise par un décalage énorme entre l'intrusion des nanos dans notre vie quotidienne et la mise en évidence de leur profil toxicologique. Et c'est précisément ce qui est arrivé. Ce décalage est d'ailleurs visible jusque dans la proportion des études publiées : la recension des publications scientifiques sur les nanos dans le monde entier, quatre ans plus tard, en 2010, fait apparaître que 2 % seulement d'entre elles concernaient l'analyse des risques. Un écart que l'on retrouve aussi entre les laboratoires de recherche. En France, alors que certains experts travaillant pour les agences de sécurité sanitaire voulaient organiser les équipes de chercheurs en santé publique travaillant sur les nanos et les dynamiser, il est apparu que le secteur était désertique. Le pneumologue Patrick Brochard, spécialiste des nanomatériaux et membre du Comité de la prévention et

de la précaution (CPP¹), en témoignait en 2007 : "Nous nous sommes aperçus que le nombre de laboratoires était limité. Ces derniers ne peuvent donc pas répondre à la demande de la société sur les nanotechnologies²."

Des élus américains et des conseillers scientifiques ont sévèrement critiqué cette disproportion fixée par la politique de Washington, instituant une énorme prise de risque dès le début, en complète contradiction avec les acquis du système de prévention. Mobilisés contre le manque de transparence et de contrôle des nanotechnologies, ces derniers parviendront finalement, à l'été 2008, soit cinq ans après le vote de la loi et la mise sur le marché d'une multitude de nouveaux nanomatériaux, à trouver un créneau dans l'agenda parlementaire pour défendre des amendements promettant d'élargir un peu ce volet, de rendre les résultats des études accessibles au public et de contrôler la bonne affectation de cette maigre part du budget aux risques toxicologiques et environnementaux par les agences recevant ces allocations, telles la Food and Drug Administration (FDA), l'Environmental Protection Agency (EPA), l'US Department of Agriculture (USDA) et la Consumer Product Safety Commission (CPSC³).

Rien de tout cela n'échappera aux observateurs du ministère français de la Recherche et du ministère des Affaires étrangères, comme en témoigne au même moment la lettre de leur informateur officiel, la Communauté de

1. Le CPP dépend du ministère de l'Environnement.

2. Intervention de Patrick Brochard lors de la conférence "Nanotechnologies : le point sur les débats, des orientations pour demain", Cité des sciences, actes des 19 et 20 mars 2007, p. 10. Le pneumologue en profitait d'ailleurs pour regretter au passage que les industriels ne soient pas soumis à l'obligation de partager avec le secteur public leurs données concernant la sécurité sanitaire.

3. La responsabilité de ce contrôle a été confiée au White House Office of Science and Technology Policy (OSTP) qui doit veiller à ce que les agences fédérales affectent réellement les budgets prévus à ces domaines. "CongressAddressesNanotechnology", Chemical & Engineering News, 23 juin 2008 : pubs.acs.org/cen/government/86/8625gov2.html

veille technologique internationale¹. Mais se caler sur les États-Unis pour répartir le budget des nanos et limiter la part allouée à la prévention s'est imposé comme allant de soi. En décidant de les imiter, les responsables français se sont tout bonnement simplifié la tâche, tout comme ceux de l'UE, au mépris des règles élémentaires de prévention. Au plan de la logique humaine et environnementale, cela revient à dire que les nations européennes ont accepté aussi de mettre la charrue avant les bœufs. C'est-à-dire d'hypothéquer la santé publique. Une attitude qui, compte tenu de ce que l'on savait déjà depuis des décennies sur la toxicité des particules ultrafines de dimension nanométrique, faisait fi des résolutions prises pour protéger l'environnement et la santé dans le cadre du Traité constitutionnel européen depuis Maastricht et reprises dans les traités suivants pour instituer le principe de précaution².

En 2005, au niveau mondial, 10 milliards de dollars ont été alloués à la recherche et au développement des nanotechnologies, alors qu'à peine 40 millions de dollars l'étaient aux recherches sur les risques, soit 0,4 %.

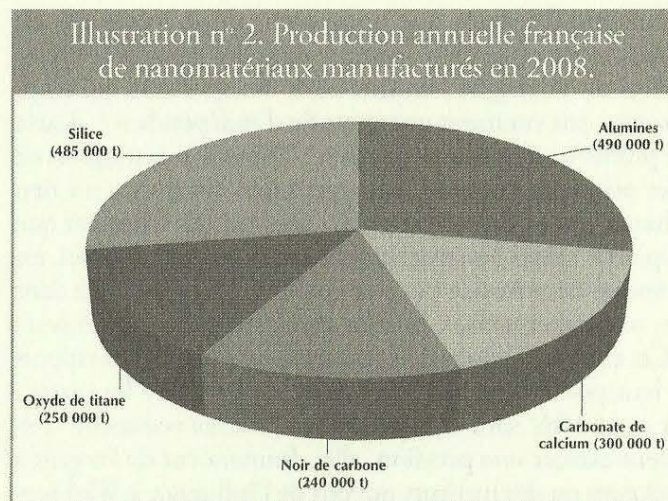
À la fin des années 2000, la production française de nanomatériaux se comptait déjà en millions de tonnes par an. Le tonnage de quelques-uns d'entre eux, comme la silice nanofacturée ou l'oxyde de titane, durant la seule année 2008 dans l'Hexagone, en donne une idée (illustration n° 2).

Les industries se sont empressées d'introduire des nanoparticules dans une grande diversité de produits, y compris dans l'alimentation. En 2009, plus de 1 000 applications étaient déjà recensées sur le marché mondial, comme le montre l'illustration n° 3. Ce nombre était toutefois en dessous de la réalité car beaucoup d'industriels affirmaient

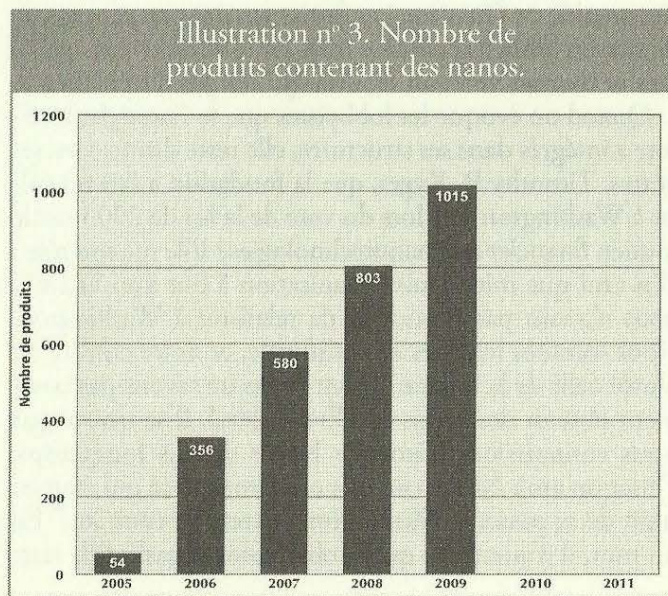
1. Information transmise à ses membres en juillet 2008, par son site www.vigies.com, aujourd'hui fermé.

2. Article 174 (ex-article 130 R) du traité instituant la Communauté européenne.

ne pas savoir ce que contenaient les matériaux qui leur étaient livrés.



Source : Robin Delaville.



Source : AFSSET, 2010.

FORESIGHT INSTITUTE :
"NOTRE RÔLE EST MINIME"

Christine Peterson, que nous avons donc interrogée au sujet de son objectivité, compte tenu des ressources financières du Foresight Institute et de ses sponsors qui n'apportent pas vraiment une garantie d'indépendance, écarte le problème d'un revers de main : "Nous avons toujours eu des principes très clairs et l'argent des entreprises n'a rien changé¹." Cette déclaration, à l'unisson des formules que répètent toutes les structures financées par des lobbies, est presque désarmante par son aplomb. Mais, poussée dans ses retranchements, Christine Peterson se désunit un peu : "Ces entreprises nous donnent très peu d'argent par rapport à leur poids véritable." Elle tente de brouiller les cartes : "Ces sociétés sont très puissantes. Si elles voulaient vraiment exercer une pression, elles donneraient de l'argent à des gens ou des instituts qui ont de l'influence à Washington DC." Autrement dit, si l'on suit le raisonnement de la responsable de l'Institut, ces firmes auraient les moyens de mener un lobbying efficace mais ne le veulent pas, préférant se tourner vers son Institut qui n'a pas d'influence...

Quand on évoque les lobbyistes que le Foresight Institute a intégrés dans ses structures, elle reste droite dans ses bottes. Timothy B. Kyger, que la fondation a fait travailler à Washington DC lors du vote de la loi de 2003 sur le soutien financier aux nanotechnologies ? Elle nie son rôle : "En tant que minuscule organisation à but non lucratif, nous n'avons pas beaucoup de relations à Washington. Nous sommes installés en Californie, et notre culture est plutôt celle de la Silicon Valley. Nous ne savons pas comment obtenir des fonds de l'État fédéral. Il se trouve que nous connaissons Timothy Kyger depuis longtemps, c'était un ami. Nous voulions comprendre ce qui était en train de se passer à Washington autour de cette loi." En un mot, il n'aurait été qu'un observateur passif. Elle reste

1. Entretien, *op. cit.*

muette sur les autres lobbyistes industriels présents parmi les membres de l'Institut¹.

Elle s'empresse aussi de minimiser ses financements, ajoutant qu'elle n'a pas obtenu de subventions importantes, sans plus de précision : "Il y avait d'autres acteurs à Washington qui étaient bien plus puissants que nous : des universités par exemple, qui ont reçu beaucoup de fonds publics..." Christine Peterson, qui restera évasive sur l'importance des fonds apportés par les industriels et les agences publiques, ne cesse de répéter que le Foresight Institute n'a que des moyens insignifiants et que son rôle est minime...

Son propos contredit complètement la présentation officielle que les autorités en font, de même que la manière dont il se définit lui-même auprès de l'opinion américaine : "Foresight Institute est le principal groupement d'intérêt public des nanotechnologies²." En effet, l'éventail des entreprises membres, en nombre et en importance sur le marché des nanos, est incontestablement écrasant. Il en fait le principal instrument de propagande du secteur.

À écouter cette dame, on oublierait jusqu'à son influence personnelle qui, au-delà de ses responsabilités dans cette organisation et des incessantes conférences qu'elle donne sur les nanos, est aussi membre du Blue Ribbon Task Force on Nanotechnology (BRTFN), un groupe d'experts qui fait du lobbying pour que la Californie soit la région phare de la course économique aux nanos. Christine Peterson siège également à l'International Council on Nanotechnology (ICON), qui se donne pour ambition de "favoriser la réduction des risques tout en maximisant les avantages des nanos pour la société". Son ambition était de se faire reconnaître dans le monde entier comme l'organisme représentatif de la société civile avec des représentants des gouvernements, du monde industriel, universitaire et associatif. Les commanditaires de l'ICON sont DuPont, la multinationale de la chimie, L'Oréal, le mastodonte de

1. Cf. *infra*, p. 31-32.

2. On retrouve même cette présentation sur le site du Foresight Institute.

la cosmétique, Mitsubishi... Sa base de données sur le Web, censée informer le public sur les avancées technologiques et sur les risques liés aux nanos, a été conçue par des représentants de l'industrie chimique.

Ce n'est pas tout, la patronne de Foresight siège aussi au conseil de rédaction de la NASA Nanotech Briefs qui promeut commercialement sur le Net les produits utilisant des nanotechnologies. Elle apparaît dans l'organigramme du conseil du Singularity Institute, une organisation "à but non lucratif" qui vante l'intérêt de l'intelligence artificielle et prétend prévenir contre ses dérives éventuelles... Sans compter les nombreux articles et entretiens qu'elle consacre aussi à la gloire des nanos ou au "sens des responsabilités de leurs producteurs". Accessoirement, elle préside des Personalized Life Extension Conference Series, manifestations d'une structure sponsorisée qui sert de vitrine à des produits censés accroître la longévité.

On aimerait croire Christine Peterson quand elle martèle que son Institut est isolé, faible et que ses sponsors ne font pas de lobbying, mais l'enquête nous porte à une conclusion opposée. Le tableau qu'elle dresse oublie des informations cruciales. Par exemple, le fait que le Foresight Institute compte parmi ses membres la société Foley & Lardner LLP. Or, ce cabinet de relations publiques est très impliqué dans le business des nanotechnologies. Il propose ses services aux entreprises qui investissent dans les nanos et qui se soucient d'anticiper les nouvelles réglementations du gouvernement dans ce secteur, ainsi que de "développer une approche stratégique pour répondre aux craintes du public vis-à-vis des impacts sur la santé et l'environnement des nanotechnologies". En clair, organiser la propagande pour rassurer les producteurs et les consommateurs inquiets. Il propose aussi aux premiers de faciliter la conclusion de contrats avec l'État grâce à ses "avocats situés à Washington, au cœur de la machine gouvernementale". Mieux encore : Foley & Lardner LLP assure qu'il peut obtenir à ses clients des "dérogations légales auprès du Congrès américain si nécessaire". Nous sommes ici

dans le lobbying pur et dur, très loin de la vocation "philanthropique" de l'Institut. Un travail d'influence où se distinguent d'immenses lobbies qui regroupent les multinationales investissant sur l'infiniment petit : la NanoBusiness Commercialization Association, la Nanotechnology Industries Association, le Silver Nanotechnology Working Group et le Nanotechnology Panel of the American Chemistry Council.

On retrouve ainsi Procter & Gamble, BASF, Dow Chemical, DuPont, Lockheed et 3M au sein du Nanotechnology Panel of the American Chemistry Council. Les produits de ces multinationales bienfaitrices du Foresight Institute comportent en effet des nanoparticules et elles s'allient pour peser sur la politique du gouvernement américain. Tout indique qu'elles attendent de l'Institut animé par Christine Peterson qu'il agisse sur l'opinion pour cultiver un consensus en faveur des nanos. Si l'on se fie aux déclarations des lobbyistes américains tenus par la loi de faire état régulièrement de leurs dépenses auprès de l'administration, l'argent consacré au lobbying par ces entreprises en 2012 était au minimum de 200 millions de dollars. Il faut y ajouter leurs versements en soutien aux candidats fédéraux lors des élections, lesquels se sont officiellement élevés à plus de 120 millions de dollars pour 2011-2012¹.

Décidément, il y a du beau monde en dessous. En particulier des lobbies comme ceux de la chimie, habitués à entretenir d'excellentes relations avec le personnel politique de la Maison Blanche et du Congrès, et devenus très roués dans l'art de retarder la prise en compte des études toxicologiques sur les méfaits des substances délétères. Mais nous ne sommes qu'au début de nos découvertes dans l'univers infiniment trouble et ambivalent du lobbying...

1. Comme le rappelle judicieusement la journaliste américaine Sheila Kaplan, dans "Nanotechnology: harmful or benign?", *Investigative Reporting Workshop*, American University School of Communication, 15 juillet 2013.

L'EMBARRASSANT ERIC DREXLER

Pourquoi celui que l'histoire présente comme le "pape des nanos", Eric Drexler, a-t-il fini par tourner le dos au Foresight Institute? Au cours de notre entretien, Christine Peterson évite soigneusement de reconnaître qu'un contentieux avec les industriels a dicté le départ de son mari, en 2002, alors qu'elle choisissait d'y rester : "Je pense qu'il s'est dit qu'il était temps pour lui de partir d'une structure qui était trop petite pour ce qu'il voulait faire. Il voulait promouvoir ses idées dans une institution plus grande, avec plus de moyens d'encadrement et de leviers d'action. C'est pour cela qu'il se trouve à Oxford aujourd'hui. Notre organisation, qui est à but non lucratif, reste minuscule. Il a senti qu'il avait fait tout ce qu'il pouvait avec nous."

Son discours est rodé, sans la moindre aspérité. Cette version, qui semble trop lissée pour ne rien cacher, ne coïncide pas du tout avec celle qui émerge en examinant les choses de plus près. Pour commencer, Christine Peterson ignore délibérément les critiques que Drexler a formulées contre l'industrialisation massive des nanos. Cette femme d'influence qui joue un rôle central aux États-Unis dans l'entretien du consensus autour des nanotechnologies posséderait-elle l'art de prendre ses interlocuteurs pour des truffes?

Étonnamment, les références à Eric Drexler ont disparu une à une sur le site du Foresight Institute quand il l'a quitté. L'ingénieur qui avait popularisé les nanos et présidé l'Institut n'est plus présenté aujourd'hui comme son fondateur. En revanche, Christine Peterson y figure toujours comme cofondatrice. Il faut dire que le couple a divorcé au moment où le fondateur a tourné le dos à la structure. Autre point troublant : le livre phare de Drexler, *Engines of Creation*, est absent du site. Il était pourtant intégralement disponible auparavant, et l'Institut créé l'année même de sa publication s'y appuyait explicitement. Désormais, un message d'erreur s'affiche. Pour trouver l'ouvrage, il faut aller sur le site de Drexler, e-drexler.com,

que ce dernier a ouvert en 2004 et où il précise bien qu'il n'est *pas* lié au Foresight Institute et qu'il ne saurait être contacté là-bas. En fait, l'ingénieur a quitté le Foresight Institute plutôt fâché... Pour des raisons essentielles que nous allons évoquer.

La vérité est cruelle. Après avoir exploité ses talents, les industriels ont préféré le neutraliser. Drexler s'était en effet distingué en attirant l'attention du public sur certains dangers, à commencer par le risque de voir des nanomolécules se reproduire d'elles-mêmes de façon incontrôlable en quantité imprévisible. Cette crainte devant le risque d'une redoutable prolifération des nanos, plus insidieuse qu'une propagation infectieuse, était fondée, malgré l'image de ridicule que les responsables des programmes de développement ont tenté d'en donner. L'expression conçue par Drexler pour désigner ce phénomène – "grey goo" ou "glu grise"¹ – évoque un pullulement moléculaire invisible, silencieux, s'attaquant à la nature et aux organismes vivants aussi bien qu'à la matière inerte². Une sorte de cancer où ce ne sont plus des cellules qui se reproduisent de façon incontrôlée mais des molécules manufacturées ou des "nanorobots". Comme des virus en somme, à une différence près : de telles nanos n'auraient pas besoin d'un organisme à parasiter pour se multiplier mais juste d'atomes, et notre monde n'en manque pas. De nombreux scientifiques et spécialistes des nanotechnologies ont jugé que ce risque ne pouvait être exclu. Le chercheur américain Robert Freitas, qui travaille pour l'Institute for Molecular Manufacturing, a créé le terme "écophagie" pour le qualifier³.

1. L'expression originale "grey goo" s'est improprement popularisée en France sous le nom de "gelée grise". Or, comme l'éditeur français d'*Engines of Creation*, je m'en tiens à "glu grise" qui exprime l'idée qu'une prolifération de nanos répliquantes se nourrissant de matière est plus "collante" qu'une gelée.

2. Eric Drexler, *Engins de création*, op. cit., chap. XI.

3. Ce néologisme s'est largement répandu en science pour désigner l'appauvrissement des écosystèmes.

Durant des années, le Foresight Institute avait explicitement soutenu la crainte de son fondateur, Drexler. L'auteur d'*Engines of Creation*, en bon Prométhée prévoyant (en grec ancien, Prométhée signifie "prévoyant", tout comme *foresight* en anglais), avait même obtenu que la fondation affiche un code éthique appelant les chercheurs en nanotechnologie à "renoncer au développement d'entités qui se reproduiraient d'elles-mêmes en utilisant les ressources de leur milieu".

L'idylle avec les multinationales dura des années, jusqu'à ce que ces dernières l'identifient comme une source d'inquiétude pour le public et les décideurs politiques. En 2002, *Prey (La Proie)*, le roman de Michael Crichton puis son adaptation au cinéma, contribuera à diffuser cette crainte. Le prince Charles lui-même a fait publiquement part de son anxiété à ce sujet auprès des Britanniques¹.

Drexler formulait aussi une critique contre la production industrielle massive de nanomatériaux, procédant par taillage, abrasion, broyage et méthodes chimiques "aveugles" entraînant d'énormes quantités de résidus. Une production peu soucieuse de pollution et très éloignée de la créativité utile qu'il avait appelée de ses vœux. Un simple nano-objet de 4 nm de large n'exigeant que d'assembler quelques atomes avec une technologie ascendante nécessiterait autrement d'enlever des milliards de molécules à un matériau de un centimètre d'épaisseur pour l'obtenir.

À la fin des années 1990, en découvrant le contenu de la National Nanotechnology Initiative (NNI), il a commencé à dire que ce programme consistait tout bonnement à abandonner la nanoscience aux intérêts économiques des

1. Le prince Charles a commandé un rapport sur le problème à la Royal Society. Celle-ci n'a pas catégoriquement exclu le risque, mais l'a déclaré "très improbable" en l'état actuel des possibilités nanotechnologiques dans *Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties* (The Royal Society, 29 juillet 2004). Un rapport de l'École des mines reprendra cet avis dans *Les Nanotechnologies : éthique et prospective industrielle*, rapport de la section "Innovation et entreprises" du Conseil général des mines et du Conseil général des technologies de l'information, 2004.

entreprises. En effet, Drexler s'insurgeait de plus en plus devant ce qu'il considérait comme une grave dérive, très éloignée de la démarche créative "ascendante" (*bottom-up*) qu'il avait appelée de ses vœux pour servir l'humanité. La suite des événements était écrite.

DES "MACHINES CITOYENNES"

À l'instar de ce qui arrive souvent quand un homme commence à faire des vagues au lieu de remplir paisiblement son office, les industriels ne se montrèrent plus très enthousiastes pour le garder. Il avait pourtant clairement annoncé les choses dès 1986, dans *Engines of Creation*, en consacrant plusieurs chapitres aux risques de dérives pouvant conduire les nanos à devenir des "moteurs de destruction". On y lit par exemple :

Les assembleurs répliquants et les machines intelligentes représentent des menaces importantes pour les êtres humains et la vie sur Terre en général. Les organismes vivants actuels possèdent des capacités éloignées des limites du possible et nos machines évoluent plus vite que nous. Elles nous surpasseront probablement en l'espace de quelques décennies. À moins que nous n'apprenions à vivre en paix avec elles, notre avenir sera probablement à la fois mouvementé et court. [...] Des répliqueurs dangereux pourraient être trop résistants, trop petits et se propager trop vite pour qu'on puisse les arrêter – du moins si nous ne nous y préparons pas. Nous avons du mal à contrôler les virus et les drosophiles. Nous avons des difficultés alors même qu'ils sont constitués de machineries moléculaires conventionnelles¹.

L'auteur répète dans l'ouvrage que "nous devons trouver des manières de vivre avec les machines pensantes, d'en

1. Eric Drexler, *Engins de création*, op. cit., p. 216.

faire des citoyens respectueux des lois". La formule est belle et semble directement inspirée d'Isaac Asimov, le célèbre auteur de science-fiction qui, en 1942, avait conçu trois lois à intégrer dans le "cerveau positronique" des robots pour les empêcher de nuire :

1. Un robot ne peut porter atteinte à un être humain, ni, restant passif, permettre qu'un être humain soit exposé au danger.
2. Un robot doit obéir aux ordres que lui donne un être humain, sauf si de tels ordres entrent en conflit avec la première loi.
3. Un robot doit protéger son existence tant que cette protection n'entre pas en conflit avec la première ou la deuxième loi¹.

Notons au passage que ces trois règles *a priori* complètes sont vite apparues à Asimov lui-même comme très sommaires au regard de la complexité de la robotique et du flou qui s'introduit progressivement entre l'humain et ses prothèses de plus en plus fines. D'ailleurs, Drexler n'abordait pas les graves questions que soulevait le futur programme juridique des machines : Comment des notions telles que "respect", "danger", "humain" ou "conflit" seraient-elles définies ? Qui serait le législateur et quels lobbies seraient à la manœuvre pour ciseler les articles et leur décret ? Et qui accorderait des dérogations ? À quel prix l'éthique et l'économie seraient-elles conciliées pour ne pas nuire aux "intérêts nationaux", à la puissance militaire, au libre-échange et à la "raison d'État" ?

Un avertissement terrible dans les ultimes pages de son livre met encore en évidence les craintes de l'ingénieur : "Si l'idée de nanotechnologies était dissociée de l'idée des dangers qu'elles présentent, alors elles seraient encore plus dangereuses qu'elles ne le sont actuellement²." Il n'a

pas été écouté. Cette dissociation est même la marque la plus caractéristique du programme de soutien américain et international aux nanos.

Celui qui rêvait que l'humanité se montre "à la hauteur du défi historique" de la révolution nanotechnologique a dû se résoudre à constater que la tournure des événements échappait au cadre qu'il avait prescrit, qu'elle dérapait facilement, gravement et même complètement. Drexler n'a pas mis longtemps pour cesser d'être dupe mais ne pourra pas faire entendre ses critiques avec le concours du Foresight Institute. Les membres de cette structure, même ceux qui ne représentaient pas directement les intérêts des entreprises, étaient peu disposés à contrarier les mécènes... D'abord apprécié par les dieux de l'industrie et du CAC 40 qui goûtaient son talent pour enivrer les hommes, l'ingénieur prométhéen allait être puni pour en avoir trop dit.

D'autres scientifiques furent alors poussés au-devant de la scène pour devenir des leaders d'opinion et fustiger Drexler avec des salves incessantes de critiques afin de le discréditer. Les médias s'en sont réjouis. Des rumeurs commencèrent à circuler le traitant d'alcoolique, auxquelles les représentants des lobbies industriels firent écho en répétant que ses jugements étaient ceux d'un "ivrogne". Mihail Roco se répandit partout en critiques, affirmant que la différence qu'il faisait entre la production industrielle de nanos et la créativité de l'ingénierie était une "ânerie" et que ses "histoires d'autoréplication et de glu grise étaient des élucubrations".

UN NOBEL DE CHIMIE CRÉATIONNISTE ET AFFAIRISTE

Richard E. Smalley entonna la même ritournelle assassine. Ce Nobel de chimie couronné en 1996 avec quelques confrères pour leur découverte des fullerènes (nanocarbones existant en infimes quantités dans la nature, notamment dans la suie, mais que l'industrie allait produire

1. Cf. sa nouvelle *Runaround*, publiée en 1942.

2. Eric Drexler, *Engins de création*, op. cit., p. 300.

massivement), apporta au discours officiel sur les nanos un appui volontiers rassurant. Dès le début des années 2000, Richard Smalley eut à cœur de présenter Drexler comme un farfrelu, alors qu'il le portait aux nues auparavant. Il contesta lui aussi l'éventualité de générer des molécules autorépliquantes. Quant à la méthode de production atome par atome (*bottom-up*) préconisée par Drexler, il déclara qu'elle était irréalisable du fait que "les principes fondamentaux de la physique les empêcheront à jamais", que le microscope à effet tunnel ou l'assembleur d'atomes auraient besoin de trop de doigts pour pouvoir tenir dans l'espace disponible, ou qu'il avait les "doigts trop gros et trop collants" et que contrairement à ce que Feynman avait soutenu, "il n'y a pas beaucoup de place en bas"¹. Les affirmations de Smalley contredisaient non seulement Feynman et Drexler mais aussi de nombreux confrères, et elles allaient se révéler étrangement obtuses au regard des prouesses accomplies par les nanotechnologies et de ses perfectionnements en cours².

Étaient-elles motivées par la volonté de créer du doute pour défendre les intérêts des firmes engagées dans la production massive de nanomatériaux sans recul et selon la méthode "*top-down*"? On peut au moins observer que leurs intérêts se confondaient avec les siens puisqu'il avait monté sa propre entreprise de production de nanocarbone,

1. Richard Smalley, "Of chemistry, love and nanobots", *Scientific American*, n° 285, septembre 2001, p. 76-77.

2. Eric Drexler a noté des exemples de ces perfectionnements technologiques dans les postfaces successives qu'il a rédigées lors des éditions d'*Engines of Creation*. Il en a donné aussi dans ses réponses aux critiques de Smalley. Cf. Eric Drexler *et al.*, "On physics, fundamentals, and nanorobots: a rebuttal to smalley's assertion that self-replicating mechanical nanorobots are simply not possible", 2001. Cf. aussi Eric Drexler *et al.*, "Many future nanomachines: a rebuttal to whiteside's assertion that mechanical molecular assemblers are not workable and not a concern", 2001. D'autres scientifiques en signaleront aussi, notamment ceux de l'électronique moléculaire nanométrique dès 2000.

Carbon Nanotechnologies Inc., avec le soutien de... sa propre fondation, le Smalley Institute for Nanoscale Science and Technology, profitant lui-même d'une bonne partie des fonds publics et d'une liasse de contrats avec l'industrie qui en faisait l'un des premiers producteurs mondiaux.

Smalley s'est acharné avec la même hargne contre Bill Joy, cofondateur et directeur scientifique de Sun Microsystems, coprésident de la Commission présidentielle sur l'avenir de la recherche en intelligence artificielle et inventeur de logiciels¹, quand ce dernier a confessé publiquement en 2000 qu'à son avis les nanotechnologies, même au cas où la méthode "ascendante" défendue par Drexler prédominerait, allaient faire courir de trop grands risques à l'humanité. Bill Joy s'inquiétait de la convergence des nanotechnologies avec le génie génétique et la robotique, en particulier de leurs applications militaires à des nano-armes de destruction biologiquement sélective, lesquelles étaient déjà en cours de recherche². Selon lui, on sous-estimait les conséquences effrayantes de cet emballement technoscientifique et il fallait le stopper avant que le système soit si complexe que "le désactiver équivaldrait à un suicide". Dans cette voie où il deviendra de plus en plus difficile de contredire les machines et leurs opérations sophistiquées, prévenait Joy, "l'avenir n'a pas besoin de nous"³. Il dénonçait le risque d'une perte de contrôle du système qui, d'une manière plus ou moins sensible, remplacera l'homme comme un "fusible" ou un coupe-circuit trop émotif et rudimentaire. Il fallait refermer le dossier nanos car même dans l'éventualité où l'homme conserverait le pouvoir sur "les vastes systèmes de machines, ce pouvoir sera alors entre les mains d'une petite élite dont

1. Notamment les logiciels Java et Ini.

2. Bill Joy, "Why the future doesn't need us" (*Pourquoi le futur n'a pas besoin de nous*), *Wired*, avril 2000. Sur les applications militaires, cf. *infra*, p. 56-58 et 103-113.

3. *Ibid.*

le contrôle sur les masses sera encore plus grand. [...] La seule alternative réaliste que je vois est l'abandon¹."

Smalley dénonça ces alertes comme "obscurantistes", "irrationnelles" et "irréalistes" sans craindre le paradoxe de fonder son optimisme inébranlable sur sa foi religieuse et ses convictions créationnistes résolument anti-darwiniennes². Sa fureur a créé un malaise chez plus d'un journaliste, alors que la position de Joy ne manquait pas de légitimité et demandait, à tout le moins, des arguments plus respectueux qui n'enferment pas les scientifiques dans l'obligation de s'adonner à leurs recherches sans se poser des questions sur leurs conséquences. Une réaction si explosive s'expliquait mal. Bernadette Bensaude-Vincent, philosophe des sciences et spécialiste des nanotechnologies, redoutant qu'on veuille réduire aussi en France les enjeux sanitaires et éthiques à une simple affaire d'inquiétude irrationnelle du public, a judicieusement noté que Richard Smalley "par sa position académique, était l'un des principaux bénéficiaires de la Nano-Initiative américaine" et qu'il supportait d'autant plus mal les avertissements qui risquaient de freiner la politique des nanotechnologies³.

NANOBUSINESS ALLIANCE OU LES INDUSTRIES EMBUSQUÉES

Drexler voulait encore croire à la possibilité de contrôler les nanos au lieu de les abandonner comme le demandait Bill Joy ou de les bannir comme on l'avait fait avec des substances à la toxicité trop insidieuse, telles que l'amiante, ces funestes fibres à l'origine de plusieurs centaines de

1. *Ibid.*

2. Le créationnisme est la doctrine religieuse qui attribue à Dieu la création du monde.

3. Bernadette Bensaude-Vincent, introduction à *Engins de création*, *op. cit.*, p. XXII.

milliers de morts et de 300 000 procès gagnés par les victimes aux États-Unis. Poursuivant le débat, il a rédigé une lettre ouverte à Smalley pour dénoncer sa mauvaise foi, peu avant de quitter le Foresight Institute :

Vous craignez apparemment que mes avertissements contre les dangers des nanotechnologies entravent à long terme le financement de la recherche actuelle, en déclarant que "nous ne devrions pas laisser ce cauchemar troubler les esprits et nous éloigner de la nanotechnologie, et plutôt aider la NNI à aller de l'avant". Cependant, j'ai dès le début fait valoir que l'ampleur des risques de dérives des nanotechnologies de pointe rend d'autant plus impérative la recherche américaine et celle de ses alliés. Beaucoup ont trouvé ces arguments convaincants. Dans une discussion ouverte, je pense qu'ils vont l'emporter. En revanche, votre tentative de calmer le public par le biais de fausses allégations affirmant l'impossibilité de ces dérives échouera inévitablement, en plaçant vos collègues devant une réaction qui pourrait être destructrice. Vos arguments sont mal engagés et ne font qu'embrouiller le débat public sur les véritables problèmes de sécurité à long terme. Si vous tenez à ce que l'information qui détermine les décisions cruciales de la sécurité nationale et mondiale soit rigoureuse, je vous invite à chercher un moyen d'aider à remettre les choses dans l'ordre¹.

Drexler n'était pas le seul spécialiste à le penser, mais il fut sans doute le premier à prévenir la population en insistant sur ce risque dès son premier ouvrage. Smalley, dont la fureur était à son comble, répliqua notamment par une formule qui fit le tour des médias américains : "Vous et les gens autour de vous avez peur de nos enfants." Ce n'était pas faux mais l'argument ne tenait pas : Drexler avait toujours dit qu'ils seraient redoutables si l'on négligeait de les entourer d'une attention sans faille.

1. Lettre ouverte d'Eric Drexler à Richard Smalley, *Nanodot*, 20 avril 2003.

Le journaliste américain Ed Regis a relevé que, lors de la préparation de la loi de 2003 sur le développement et la recherche en nanotechnologie, le Congrès avait intégré dans le projet législatif une disposition favorable à une étude de faisabilité de l'ingénierie défendue par Drexler et sur les perspectives de commercialisation qu'elle ouvrait. La situation semblait donc s'être assainie. "Le rêve de Drexler était sur le point de se réaliser, explique Ed Regis. Mais en novembre, cinq mois plus tard, la disposition avait disparu de la législation. Qui fait tourner le vent sur la colline du Capitole¹ ?" NanoBusiness Alliance avait discrètement réorienté le Congrès. Le lobby industriel regroupant 250 entreprises positionnées sur le marché des nanos pesait lourd. Comme l'écrit le journaliste, "NanoBusiness Alliance n'était surtout pas intéressé par les assembleurs moléculaires, à la fois idéalistes et effrayants". Ce qu'il voulait, c'était simplement vendre les cosmétiques nanotech et les produits à l'avenant. "L'un des fondateurs de NanoBusiness Alliance, l'assureur F. Mark Modzelewski, était un opposant notoire des vues de Drexler, comme l'a montré plus tard un échange de mails avec le blogueur et promoteur de nanotechnologies Glenn Reynolds, où il comparait les théories de Drexler aux propos d'un ivrogne sur des punaises lui courant sous la peau²."

La Maison Blanche elle-même avait vu d'un mauvais œil le soutien aux assembleurs moléculaires et s'inquiétait des critiques qui commençaient à se répandre contre les applications industrielles des nanos. Au Sénat, c'est "John McCain de l'Arizona qui a présenté une nouvelle mouture dans laquelle la disposition favorable à Drexler avait disparu. Le projet de loi édulcoré a été adopté par le consentement unanime du Sénat le 18 novembre et promulgué par Bush le 3 décembre. Lors de la cérémonie, Richard Smalley était aux côtés du président³." Il sera l'un

1. Ed Regis, "The incredible shrinking man", *Wired*, 12 octobre 2004.

2. *Ibid.*

3. *Ibid.*

des principaux producteurs de nanocarbones exploitant des procédés "top-down".

Avant de découvrir l'univers des nanos, Drexler courait déjà après les eldorados scientifiques, notamment ceux qui s'offraient avec l'exploitation minière des astéroïdes et la colonisation de l'espace¹. L'homme se passionnait aussi pour la cryogénisation et ses promesses d'immortalité². Drexler était l'homme idéal pour porter le thème des nanos aux nues sur les ailes des aspirations universelles. Comme il le dira lui-même plus tard : "J'ai longtemps été poussé par le sentiment d'une mission, une mission pour aider à résoudre les problèmes mondiaux. Cela m'a conduit à explorer les technologies potentiellement transformatrices, à les étudier puis à partager ce que j'ai appris et découvert³." Aux yeux des industries, Drexler fut l'homme providentiel pour porter le thème des nanos aux nues sur les ailes des aspirations universelles. Maintenant qu'il s'horrifiait en proclamant que "les chercheurs et les industriels avaient foutu un sacré bordel", il fallait le faire oublier comme un vieux kleenex. On en fit un paria.

COMMENT ATTIRER DES MILLIARDS

Depuis l'université d'Oxford où il s'est réfugié⁴, Eric Drexler a accepté de revenir avec nous, au mois de novembre 2013, sur les aspects que nous venons d'évoquer⁵. À la question : "Selon vous, les critiques de Smalley étaient-elles motivées par la science ou par d'autres intérêts plus inavouables ?", Drexler répond clairement : "Non, les critiques de Smalley n'avaient aucune consistance scientifique. Elles

1. Première conférence de Princeton sur la colonisation de l'espace, 1974.

2. Bill Joy, *op. cit.*

3. Eric Drexler, *Radical abundance: how a revolution in nanotechnology will change civilization*, PublicAffairs, 2013, p. 200.

4. L'université britannique l'a invité à rejoindre son programme sur les impacts de la technologie future et son Centre pour l'éthique appliquée.

5. Entretien du 16 novembre 2013.

servaient juste ses arrière-pensées dans le cadre d'un agenda politique. Il n'a fait que chercher à discréditer un ensemble de concepts techniques en déformant leur contenu et en attaquant la représentation qu'il en avait lui-même donnée."

Sur les véritables raisons de son départ du Foresight Institute, il ne tient manifestement pas à gêner son ex-épouse qui le dirige encore, mais il tient à souligner qu'un monde les sépare désormais : "Le Foresight Institute était perçu comme s'il s'agissait d'un organisme qui me représentait et défendait mes intérêts, ce qui n'était pas exact, j'ai donc pris mes distances avec lui pour en finir avec cette perception."

Comprenant rapidement que les questions visent surtout à cerner les influences inavouables qui ont conditionné les recherches et le développement des nanotechnologies aux États-Unis, il confirme qu'il y a bien eu "désinformation et corruption". Pour apporter plus de précision, il attire notre attention sur les pratiques qu'il dénonce dans le chapitre XIII de son dernier livre : *Radical Abundance*¹... Drexler y décrit comment les industriels et de nombreux chercheurs ont entretenu la confusion entre les recherches à long terme relevant de l'assemblage de nanos avec une précision atomique et les études expéditives pour mettre sur le marché des matériaux comportant des nanoparticules en surfant sur la fascination qu'exerçait la notion de nanotechnologies depuis le succès de *Engines of Creation* : "Dans les années qui ont précédé 1986, les études sur les particules nanométriques restaient peu séduisantes, mais ensuite tout le monde a commencé à les trouver passionnantes, à condition d'utiliser le mot nanotechnologie. Des chercheurs ont ainsi été récompensés dans une foule de domaines [...]. Le mot était d'un emploi facile car leur travail était « nano » et relevait de la technologie." Drexler parle d'un véritable "réétiquetage de la recherche, qui est devenu une tactique répandue pour obtenir des financements". Au point que, dans les milieux spécialisés, la notion même de nanotechnologie faisait

1. Eric Drexler, *Radical Abundance*..., op. cit.

l'objet de toutes sortes de plaisanteries sur son élasticité. On n'avait jamais vu que la simple référence à la taille nanométrique suffise à fédérer autant d'équipes de recherche. Il cite l'exemple typique d'un article publié dans une revue scientifique sous un titre évoquant des "nanoparticules d'oxyde de fer" et un chapeau commençant par "Les applications médicales des nanotechnologies...", alors que les techniques pour produire l'oxyde en question relevaient d'un champ tout à fait classique. "Ce genre de nanotechnologie a finalement attiré des milliards de dollars de financement", alors que "l'idée de référence, l'ingénierie à précision atomique, est restée un slogan puissant mais ne représentant rien de plus qu'un vague rêve sans le moindre plan de mise en œuvre¹".

Drexler confirme explicitement que les craintes qu'il a voulu éveiller dans le public, notamment par rapport à la "glu grise" (que ses adversaires et les vulgarisateurs ont vite transformée en "horde de nanopunaises" dévorant tout), ont amené les "dirigeants de Washington, poussés par une politique cupide et timorée, à détruire ce qu'ils pensaient être des obstacles sur leur chemin", à savoir lui-même et les assembleurs moléculaires.

En 1999, les promoteurs de la NNI ont publié une brochure sur papier glacé pour le public [...] faisant miroiter que nous allions pouvoir construire des objets comme la nature le fait, atome par atome et molécule par molécule, et décrivant les merveilles d'un avenir lié à cette conception des nanotechnologies. [...] Puis, en juillet 2000, le groupe de travail sur les nanosciences, l'ingénierie et l'inter-technologie en collaboration avec le National Science and Technology Council (NSTC) a émis un document plus officiel, intitulé National Nanotechnology Initiative (NNI). La Maison Blanche a transmis ce document et son plan de mise en œuvre aux membres du Congrès en présentant la nanotechnologie comme "la capacité par essence de travailler à l'échelle moléculaire, atome par atome, pour

1. *Ibid.*, p. 199.

créer de grandes structures avec une nouvelle organisation moléculaire". [...] Le Congrès a financé la National Nanotechnology Initiative sur cette base et inclus un mandat explicite pour développer la fabrication à précision atomique (APM). Ces documents décrivent un programme de recherche APM promis et financé. Je n'ai pas été consulté, mais j'aurais approuvé. Puis, quelque chose d'insolite s'est passé dont je ne connais pas d'équivalent. C'est comme si la NASA avait trahi le rêve de vol spatial, avait retourné sa veste et proclamé qu'elle était contre la construction de fusées tout en promettant la lune.

On connaît la suite, les promoteurs ont alors mis la main sur les subsides et les ont utilisés avec les firmes, sur le dos des contribuables.

Drexler confirme que l'avenir avait failli basculer de son côté au moment où le Congrès avait prévu d'inclure dans la loi une définition officielle de la nanotechnologie comme un champ "dans lequel la matière est manipulée à l'échelle atomique ou moléculaire". Mais c'était avant que le groupe de la NNI passe et change la définition pour la réduire uniquement au critère de la taille ne dépassant pas 100 nm, ouvrant ainsi la voie aux politiques et aux lobbyistes pour lancer leur campagne, tout en laissant Richard Smalley affirmer que les nuages de nanopunaises n'étaient plus à l'horizon puisque l'assemblage atome par atome était "à jamais impossible", ce qui permettait de fermer le financement de la recherche fondamentale pour y substituer celui des applications lucratives. L'avenir redessiné par les promoteurs n'avait plus besoin de Drexler et encore moins de Bill Joy.

"NOUS DEVONS GAGNER CETTE COURSE"

Tous ces événements incitent Drexler à regarder avec une certaine ironie les déclarations initiales du Foresight Institute prétendant donner toute leur place aux critiques

pour encadrer les nanos. Christine Peterson réussit toujours à entretenir dans les médias américains le sentiment que l'industrialisation des nanoparticules est bonne pour la population. Elle a fait de la course aux nano-armements un leitmotiv et répète que les aides publiques devraient être consacrées essentiellement aux industries travaillant pour la défense : "Mon message principal au sujet des applications militaires est que nous devons absolument gagner cette course. C'est comme pour les armes nucléaires. Ce n'est pas une course que nous pouvons nous permettre de perdre. Nous devons absolument la gagner et nous devons être organisés pour y parvenir¹." Pour en convaincre une majorité d'Américains, Mme Peterson se répand dans les médias pour dire qu'elle est "très inquiète" au regard de la "puissance de destruction des bombes nanotechnologiques très supérieure selon elle aux bombes atomiques et aux armes chimiques", et de surcroît "échappant aux satellites, invisibles à l'œil humain et chimiquement indétectables". Elle critique aussi volontiers les choix de ventilation financière de la NNI : "Les gens supposent que cet organisme s'est fixé un ensemble d'objectifs et qu'il les atteint, mais ce n'est pas ce qui se passe. C'est une organisation chaotique et informelle, entre les mains d'un groupe de professeurs qui affublent leurs travaux dépassés du mot « nanotechnologie ». Ces travaux ne sont pas mauvais en soi mais ils ne répondent pas aux besoins en termes de systèmes de machines moléculaires productives nécessaires aux militaires."

Enfin, pour justifier un effort économique toujours plus grand en faveur des nanos, elle reprend un argument que les lobbyistes affectionnent : "Nous sommes satisfaits de nous et même arrogants aux USA, nous croyons que nous resterons le leader. C'est une erreur. D'autres pays y consacrent des dépenses supérieures aux nôtres. Nous

1. Les citations qui suivent proviennent de Maryann Lawlor, "Small Matters", *Signal Magazine*, juillet 2005.

2. À ce sujet, voir p. 103-105.

sommes toujours les premiers, mais rien ne garantit que nous le resterons.” Et Christine Peterson relance le thème de la guerre froide, notamment avec l’Asie. Elle répète qu’en Chine la recherche en nanotechnologie coûte six fois moins cher qu’aux États-Unis, et que le nombre d’ingénieurs chinois dépasse celui des États-Unis...

La leadeuse d’opinion rappelle tout de même dans ses déclarations publiques qu’elle est “heureuse de voir que les Américains tiennent à défendre le respect de leur vie privée contre des applications nanotechnologiques qui transgresseraient les limites”.

DES PRÉVISIONS HYPNOTIQUES

La course mondiale aux nanos s’amplifiera rapidement, emportant dans une valse endiablée les industriels, les chercheurs et une majorité d’élus¹, avec le relais de représentants roués qui obtiendront que les pouvoirs publics y consacrent des sommes de plus en plus énormes. *In fine*, ce sont tous les citoyens qui, *via* ces financements publics, allaient soutenir les grandes entreprises.

L’État français n’a pas lésiné sur les financements publics aux nanotechnologies de 2001 à 2005. Le budget qui leur a été alloué a progressé chaque année – il a presque doublé en cinq ans. Et encore faut-il lui ajouter le montant de ce qui a été distribué pour le soutien au développement dans le cadre des programmes “Nano/Micro”, mais cette dernière part est impossible à distinguer, tant les deux champs technologiques se mêlent (voir illustration n° 4). Si l’on prend en compte seulement un tiers de celui-ci, cela représente au bas mot 2 milliards d’euros. Et ça n’était qu’un début.

1. Hormis les élus des formations écologistes qui, pour la plupart, demanderont l’application de mesures de précaution, à commencer par des évaluations toxicologiques.

Illustration n° 4. Les financements par l’État français de 2001 à 2005 exprimés en millions d’euros.

	2001	2002	2003	2004	2005
Programme “Nano” à part entière	143,5	165,1	210,1	255,0	277,4
Programme “Nano/Micro” différentiables	371,9	398,2	426,8	430,4	434,1
Total (en M€)	515,4	563,3	636,9	685,4	711,5

Source : Conseil économique et social¹.

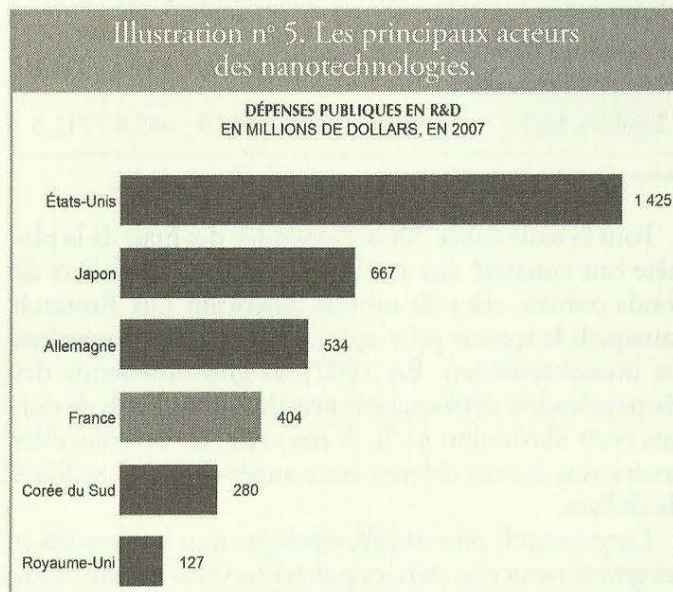
Pour la seule année 2004, l’ensemble des États de la planète ont consacré aux nanos 4,6 milliards de dollars de fonds publics, selon le cabinet américain Lux Research (auxquels le secteur privé ajoutait à peu près l’équivalent en investissements). En 2007, les gouvernements des six pays leaders débloquent près de 3,5 milliards de dollars (voir illustration n° 5). À eux seuls, les contribuables américains étaient délestés cette année-là de 1,3 milliard de dollars.

L’argument le plus décisif, repris par tous les rapports et les gouvernements, était les prévisions mirobolantes d’extension du marché des nanos. Des chiffres d’abord établis par le Government Accountability Office américain (GAO), le grand comptable qui informe le Congrès. Selon ce dernier, le marché mondial des nanotechnologies représentait en 2008 déjà près de 500 milliards de dollars et s’amplifierait de plus en plus rapidement au cours de la décennie suivante, pour atteindre entre 2 et 3 mille milliards de dollars en 2015². Des agences de conseil annonçaient même une progression quasi exponentielle des chiffres au-delà

1. Rapport du Conseil économique et social, 2008. (Les références détaillées des différents rapports et études sur la toxicité des nanos sont regroupées dans la bibliographie en fin de volume, p. 229.)

2. L’ambassade de France aux États-Unis/ADIT, reprendra ces chiffres dans son bulletin électronique n° 126 du 6 juin 2008.

de cette date, la plupart d'entre elles ayant une clientèle investissant dans les nanomatériaux, avec l'objectif était de mettre en valeur ce marché auprès de l'ensemble des acteurs économiques¹.



Source : OCDE.

En 2008, le ministère français de l'Économie et des Finances se joignait à la chorale en s'appuyant sur les chiffres fournis par l'administration américaine et répétait : "Le montant du marché mondial est estimé à 500 milliards de dollars²." Il soulignait l'importance de ses propres investissements : "L'effort financier de la France dans le domaine de nos nanotechnologies place le pays au deuxième rang européen derrière l'Allemagne. [...] Entre 2001 et 2005,

1. Cf. *infra*, p. 95-99.

2. Rapport du Centre de documentation du ministère de l'Économie et des Finances (CEDEF), 2008.

plus de 1 milliard d'euros de fonds publics ont été investis en France pour développer la recherche dans le secteur des nanosciences et des nanotechnologies. Pour l'année 2007, l'effort public est de l'ordre de 280 millions d'euros¹. Un quart du budget relève du ministère en charge de la Recherche, un quart du Commissariat à l'énergie atomique (CEA) et un tiers du CNRS. Les 20 % restants relèvent principalement du ministère de l'Économie, de l'Industrie et de l'Emploi, et pour moins de 5 % de l'INSERM et d'Oséo-Anvar². On ne peut le nier, c'était beaucoup. Et ça n'était qu'un début.

Pour illustrer la bonne utilisation de ces fonds, le ministère de l'Économie n'entrait pas dans les détails des articles mis sur le marché (cosmétiques, aliments, textiles, appareils ménagers, électronique...), préférant mettre en exergue la quantité des études publiées, sans s'arrêter à leur finalité : "La France se classe au cinquième rang mondial en termes de nombre de publications dans le domaine des nanosciences. Les États-Unis sont actuellement leader en matière d'investissement dans ce domaine, ainsi qu'en termes de production scientifique et de valorisation de la recherche." La question de l'utilité des articles et le problème des priorités économiques étaient évités, laissant l'abstraction des chiffres susciter des rêveries sur le rayonnement de la France en attendant les retours sur investissement.

Le ministère négligeait de préciser l'objet et la nature de ces publications, de même que la proportion de celles qui abordaient le problème des risques... Il est vrai qu'elles ne représentaient que 2 % du total, ce qui trahissait les graves carences en équipes de chercheurs sur le versant sanitaire.

Cette disproportion était d'autant plus regrettable que les dangers liés aux nanos ne faisaient plus mystère pour

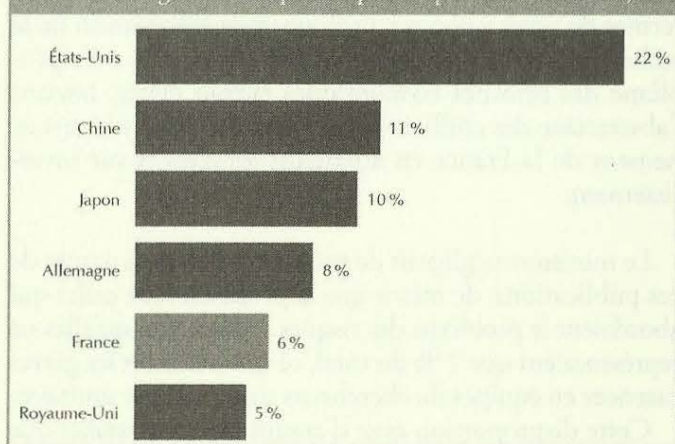
1. La conversion en dollars américains en 2007 correspondait environ à 400 millions de dollars.

2. Rapport CEDEF, *op. cit.*

les toxicologues avertis. En effet, les études déjà menées à l'époque depuis plusieurs années sur ce versant auraient dû retenir toute l'attention des ministères. À côté des résultats inquiétants, les chercheurs soulignaient souvent la nécessité de combler d'urgence le décalage entre la production de nanoparticules et le suivi des personnes exposées.

De nombreux résultats d'études révélant leur toxicité s'étaient en effet accumulés. Le gouvernement aurait dû s'en alerter et prendre une série de mesures, autant pour gérer les nanos en circulation que pour accorder au plus vite de plus amples moyens aux toxicologues afin qu'ils puissent tester les nouveaux nanomatériaux arrivant en masse et approfondir les recherches sur les aspects encore laissés dans l'ombre. Au-delà des études déjà menées, les rapports de synthèse réalisés par de nombreux organismes pointaient et soulignaient cette double urgence.

Illustration n° 6. Les publications scientifiques.
(Pourcentage d'articles publiés pour la période 1991-2007).



Source : OCDE.

DES RAPPORTS ENTASSÉS DANS LES PLACARDS

Le rapport d'Oberdörster remontait à 2000, le Bordé datait de 2002, Arnall de 2003, Bodegal de 2003, Dreher de 2003, Morrison de 2003... Et, à partir de 2004, d'autres avaient fleuri comme pâquerettes au printemps. Cette année-là, on n'en comptait pas moins d'une dizaine¹, suivis par une légion de nouveaux rapports de synthèse les mois suivants !

Aucun de ces rapports ne permettait de prendre la situation à la légère, à moins de se contenter de lire le communiqué de presse qui les présentait au public avec une inflation d'ellipses et d'atténuations pour ne surtout pas trop l'inquiéter, et encore. Tous invitaient les décideurs politiques à se mobiliser.

Même le rapport 2004 de l'École des mines, réalisé sous l'égide du Conseil général des technologies de l'information et du Conseil général des mines, aurait dû convaincre le ministère de l'Économie d'assumer véritablement la question des risques². Loin de remettre en cause le développement des nanos, le rapport le légitimait à souhait mais en rappelant l'urgence de confronter l'incontournable : "Les dotations budgétaires devraient être ajustées aux besoins émergents en matière de connaissance des risques³." Les rapporteurs dessinaient "les principaux axes d'évaluation de la politique publique française au regard des nanotechnologies, sur le fondement d'une analyse des contextes

1. Aitken *et al.* (2004), Christiansen (2004), Durrenberger *et al.* (2004), Feigenbaum *et al.* (2004), Health and Safety Executive (2004), Hoet *et al.* (2004b), Malsch *et al.* (2004), Royal Society and Royal Academy of Engineering (2004), Lamy (2005), Mark (2005), Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (2006)... Voir bibliographie.

2. Jean-Pierre Dupuy et Françoise Roure, *Les Nanotechnologies : éthique et prospective industrielle*, rapport de la section Innovation et entreprises du Conseil général des mines et du Conseil général des technologies de l'information, 2004.

3. *Ibid.*, p. 48.

européen et international, en prenant en compte toutes leurs dimensions, en particulier sociétales et éthiques¹”.

Le rapport prenait soin de justifier le soutien économique aux nanotechnologies dès les premières phrases : “Le principal argument en faveur des nanotechnologies, qui explique que leur développement est inéluctable, est qu’elles seules seront à même de résoudre, en les contournant, les difficultés immenses (climat, vieillissement, santé, pollutions, énergie, développement équitable et durable...) auxquelles ont à faire face les sociétés industrielles et postindustrielles, dans leurs dimensions privée et publique.” Ce discours était certes très consensuel, comme le sont les commanditaires, à savoir les deux Conseils dépendant du ministère de l’Industrie qui, traditionnellement, restent proches de celui de l’Économie et des lobbies industriels, mais il tirait la sonnette d’alarme : “La prise en compte publique du facteur « risque » est absolument nécessaire, dans un contexte marqué par une demande explicite de moratoire sur le fondement d’un argumentaire inspiré de celui des opposants aux OGM. Les enjeux sociétaux et industriels sont beaucoup trop importants pour que cette question soit traitée « à chaud », avec les seules ressources de ce qu’on nomme la « communication », dans un contexte plus ou moins panique de sortie de crise. Il est nécessaire de ne pas en arriver là. Et c’est aujourd’hui, encore, possible².”

Les auteurs du document signalaient qu’il ne fallait plus perdre de temps pour “fonder le consensus social autour de l’appui public aux nanotechnologies sur une réflexion éthique inclusive suffisamment en amont de la montée en puissance des marchés”, c’est-à-dire de “réfléchir à la place des acteurs dans le processus, sachant que très vite, la dimension éthique fera intervenir toute une batterie d’outils d’observation, d’intervention et de communication”. Ils rappelaient que “la responsabilité publique est engagée dans l’élaboration et le maintien du consensus social, mais

1. *Ibid.*, p. 1.

2. *Ibid.*, p. 44-45.

aussi dans la protection des populations et des personnes en situation de travail contre les risques scientifiques et industriels. L’expérience montre que s’agissant des risques majeurs (rayonnements ionisants, amiante dont la couverture du risque maladie s’élèvera à 1 milliard d’euros en 2005), c’est l’État qui répond *en dernier ressort*. Il a donc intérêt au premier chef à ce que les limites, et par conséquent les responsabilités, soient le plus précisément et le plus justement réparties au fur et à mesure que les propriétés des nanoparticules ou nanostructures seront identifiées, caractérisées et modélisées pour leur usage industriel.” Les auteurs auraient pu rappeler aussi que la diffusion des nanos, comparée à celle de l’amiante, est sans commune mesure puisque les fibres de cette dernière n’entraient pas dans la composition des aliments, ni dans les boissons (sauf certains vins), ni dans les vêtements, ni dans les cosmétiques, ni... Ils ont également raté l’occasion de souligner que les ravages de l’amiante à l’échelle de l’ensemble de la population ont mis des décennies avant que les cancers du poumon et les mésothéliomes apparaissent.

Mais, en tout état de cause, les recommandations du rapport appelaient les autorités à s’activer, quelle que soit leur méthode, et à “mobiliser l’INRS, l’INÉRIIS, l’INVS, les acteurs de la santé et de la protection du consommateur en faveur de la prévention des risques physiques et sociétaux¹”.

Et encore, ce n’était rien en comparaison des rapports sur les risques liés aux nanos qui allaient suivre...

LE CONSEIL ÉCONOMIQUE ET SOCIAL SE CONTORSIONNE

Le rapport *Nanotechnologies* rendu en cette même année 2008 par le Conseil économique et social (CES), couvrant à la fois les aspects économiques et les risques, entrera

1. *Ibid.*, p. 59.

sans doute dans les annales des avis acrobatiques. Il en dit long sur l'embarras que peut éprouver une institution qui doit rendre une analyse et des recommandations approuvées par tous les syndicats, organisations patronales comprises. On y lit d'entrée que les bénéfices économiques et techniques escomptés grâce aux nanotechnologies les rendaient indispensables. Un commentaire de ce genre, dans un contexte où tous les acteurs économiques et les autorités politiques partagent la même opinion, est assez paradoxal. Par ailleurs, répéter qu'une chose ne saurait être remise en question alors qu'on déclare que ses risques sont encore trop mal cernés pour prendre position n'est pas moins déconcertant. Surtout quand, dans ce même document, le CES demande l'application du principe de précaution... Une question surgit donc : la mission du CES est-elle de ménager la chèvre et le chou ?

Regardons le rapport de près. La toxicité des nanomatériaux n'y fait l'objet d'aucun commentaire approfondi. Parmi les rares nanos à être pris pour exemple, le dioxyde de titane est traité en quelques lignes, et uniquement pour l'application dans les laits solaires : "Leur petite taille cumule plusieurs avantages (transparence, meilleure pénétrabilité et protection par effet réfléchissant...) et une bonne tolérance cutanée – les nanoparticules de dioxyde de titane étant inertes, insolubles et non toxiques. Son application sur la peau est bien tolérée et forme à son contact des agrégats de matière qui dépassent la taille nanométrique puisqu'ils se mesurent en microns, empêchant ainsi les particules de dioxyde de titane de traverser les couches superficielles de la peau et par conséquent de pénétrer intrinsèquement l'organisme¹."

Ces lignes sont en contradiction flagrante avec les résultats des études existant alors. Elles sont d'autant plus choquantes que plusieurs rapports officiels citent déjà ces résultats, à commencer par celui de l'AFSSET, remis deux ans auparavant, en 2006. Ils révèlent en effet que non

seulement les couches superficielles de l'épiderme sont bel et bien pénétrées par ces nanoparticules mais qu'elles les laissent passer en profondeur dès que la peau a pris des coups de soleil ou qu'elle est endommagée, ce qui arrive souvent dans le contexte où les usagers utilisent les crèmes solaires. De même, le rapport de l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) de 2006 cite, comme d'autres, des recherches des années 1990 qui ne permettaient en aucun cas d'absoudre ainsi le dioxyde de titane (TiO_2)¹. Sans parler des autres voies de contamination par les mêmes nanoparticules, bien plus graves.

Le TiO_2 a des applications dans beaucoup d'autres secteurs (vêtements, bâtiment...), multipliant les occasions de dispersion de ses nanoparticules dans l'air et d'inhalation. Or, des études ont montré depuis 2004 que le TiO_2 risque de provoquer des cancers pulmonaires. Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) l'a d'ailleurs classé, en 2006, comme carcinogène possible chez l'homme, par inhalation, ce qui a conduit l'AFSSET à demander qu'on le remplace par des solutions alternatives.

Où l'auteur du rapport est-il donc allé chercher les éléments qui l'ont incité à forger des phrases disculpant complètement le nanodioxyde de titane ? Il ne donne aucune référence à ce sujet. Le lecteur doit se contenter de lire tous les ouvrages cités dans la bibliographie pour, peut-être, identifier la source... Est-ce ainsi qu'on travaille pour une institution aussi prestigieuse que le CES ?

D'une page à l'autre, comme si le rapporteur avait dû travailler avec des cerveaux différents et déphasés, on passe à la volonté "d'attirer l'attention sur le fait que la recherche en toxicité, écotoxicité et métrologie [étude et calcul des expositions] a bénéficié de trop peu de moyens au sein du système français de recherche publique et privée. Il y a donc urgence à développer des équipes compétentes pour réaliser ces travaux fondamentaux [...]". Un effort considérable de

1. Rapport du Conseil économique et social, p. 95.

1. Cf. *infra*, p. 135-139.

formation et de recrutement dans les laboratoires publics et industriels s'avère donc indispensable et urgent¹."

En réalité, la tonalité du document laisse apparaître de bout en bout la volonté de ne pas embarrasser les autorités politiques par des références toxicologiques qui seraient de nature à souligner que ce ne sont pas seulement les moyens donnés à la recherche sanitaire qui sont en retard mais, plus encore, les mesures de santé publique face à la toxicité de ces nanoparticules en circulation. Nanos dont la France absorbait cette année-là 250 000 tonnes dans des produits de toutes sortes. Le rapport souligne abondamment les "efforts de prévention" déjà accomplis par les institutions françaises et européennes, tout en formulant les déclarations de principe pour demander qu'on développe les recherches sur les risques pour rassurer l'opinion publique, qui "s'inquiète comme toujours devant les innovations technologiques"...

Sa conclusion résume l'exercice de contorsion : "Le développement des nanotechnologies est un enjeu incontournable pour notre avenir. Technologies transversales, les nanotechnologies commencent déjà et vont de plus en plus irriguer [*sic*] notre vie. Dès aujourd'hui, elles contribuent à améliorer notre quotidien. Pour demain, leurs potentialités dans des domaines aussi décisifs que la santé, l'énergie et l'environnement, les matériaux nouveaux, les technologies de l'information et de la communication, etc. sont immenses. Sur un plan industriel, la maîtrise des nanotechnologies constitue un enjeu décisif pour l'emploi, le rayonnement de notre pays et de l'Europe. En même temps, comme c'est souvent le cas s'agissant de grandes avancées scientifiques et de leurs développements, des inquiétudes s'expriment dans le débat public quant à l'existence de risques dans l'application à l'échelle industrielle de ces technologies. Il ne faut pas ignorer ces inquiétudes. Prendre en compte leur existence doit, au contraire, nous conduire à mettre en œuvre une démarche permettant à

1. Rapport du Conseil économique et social, p. 40.

la société de s'assurer que l'essor indispensable des nanotechnologies est conçu dans un souci de transparence et de sécurité maximales pour la population, les salariés et l'environnement¹."

Le rapport réussissait donc la prouesse de demander "l'application du principe de précaution" pour "intensifier les recherches" tout en estimant qu'il n'y avait aucune raison de suspendre l'emploi de la moindre nanoparticule en attendant d'en savoir plus. Étourdisante posture qui oubliait que le principe de précaution a été intégré à la législation justement pour éviter que le doute profite au maintien sur le marché des produits en cause.

LE SYNDROME DES OGM

En adoptant cette position, le CES ne risquait pas de déranger ses partenaires économiques, institutionnels et politiques, sans toutefois pouvoir être accusé d'avoir défendu l'immobilité. La performance a d'ailleurs reçu l'agrément des différents membres du CES qui, tour à tour, l'ont commenté élogieusement et approuvé, sauf l'UNSA. On ignore ce qui a pu permettre à ce syndicat de prendre une position si autonome dans ce concert unanime où la CGT, la CFDT, FO, la CFE-CGC, la CFTC, les représentants des entreprises, le secteur agricole et le groupe de la Mutualité ont applaudi des deux mains. Son incartade était-elle précisément liée au fait que l'UNSA, jeune syndicat créé en 1993, n'avait pas encore la langue liée par tous les avantages que tirent les vieilles organisations de leur profonde intégration dans le paysage économique? De fait, elle avait tenu à faire figurer dans le rapport un commentaire qui détonnait où elle rappelait "la responsabilité éthique des scientifiques qui ne doivent pas être neutres face à l'utilisation de leurs découvertes. Il y eut un précédent : des chercheurs ayant participé aux travaux ouvrant l'ère du génie

1. *Ibid.*, p. 51.

génétique ont dressé un tableau apocalyptique des conséquences probables de leurs découvertes ; ils ont décidé un moratoire et stoppé les recherches. Pour l'UNSA, il faut définir les risques inacceptables¹. L'organisation demandait ainsi "l'application stricte du principe de précaution, par l'élaboration de normes contraignantes visant à préserver des conséquences sur la santé humaine ou sur l'environnement". Et de rappeler : "Les exemples de l'amiante, du pyralène sont significatifs. Il convient de ne pas retomber dans ces errements qui ont diminué très sensiblement l'espérance de vie des travailleurs et de tous ceux qui ont été exposés. [...] L'avis veut répondre, avec prudence, à des questions déterminantes pour l'avenir de l'humanité. L'UNSA regrette qu'il ne soit pas assez volontariste pour assurer la transparence, la traçabilité du système d'exploitation et de commercialisation et la protection de l'individu et de son environnement²."

On est loin du ton des autres groupes du CES. Tels les représentants agricoles qui avaient déclaré "faire un parallèle entre les nanotechnologies et les OGM et les autres secteurs également prometteurs qui n'ont pas eu la chance de bénéficier du soutien de la société par une communication adaptée." Tout comme ceux de la CFDT qui n'hésitaient pas à dire qu'il fallait "éviter les échecs du processus de discussion que l'on connaît à propos des OGM". À l'instar du groupe des professions libérales qui jugeait "indispensable d'éviter les clivages passionnels comme ceux causés par la culture des OGM". Jusqu'au groupe de la Mutualité qui a cru bon de lancer que le débat sur les nanotechnologies "doit être précédé d'un effort pédagogique important pour éviter que se renouvellent certains malentendus et incompréhensions qui se sont manifestés, notamment dans les débats autour des organismes génétiquement modifiés". Décidément, les OGM sont bien défendus au Conseil économique et social.

1. *Ibid.*, p. 76.

2. *Ibid.*, p. 78.

DES PARLEMENTAIRES QUI AIMENT LES NANOS

En France, le législateur lui-même a traîné des pieds. Au Sénat, par exemple, les interventions au sujet des nanotechnologies ont été nombreuses depuis l'année 2000.

Le 23 janvier 2003, un colloque y était organisé sur le thème : "Microélectronique et nanotechnologies – une chance à saisir". Alors que des études de synthèse soulignaient déjà les dangers, le mot santé n'y a été prononcé que pour évoquer les espoirs que les nanos apportaient à la médecine. Pas une seule fois la question du risque sanitaire et des connaissances acquises en toxicologie sur les nanos n'a été évoquée. Les interventions des personnalités politiques présentes n'ont consisté qu'à exprimer leur fascination pour les perspectives technologiques et industrielles et à se demander quelles étaient les opportunités économiques à saisir par la France dans le "contexte de compétition mondiale" autour de ces nouvelles technologies.

Une seule personne a parlé de "risque" : un professeur à l'université de technologie de Compiègne qui pilote un réseau thématique : "Acceptabilité, ergonomie et usage des sciences et technologies de l'information et de la communication". Toutefois, il ne l'a pas fait à propos de la toxicité des nanos mais de leur "acceptabilité sociale", plus précisément du risque que la population pourrait montrer des réticences à cause de sa "peur de l'invisible" : "On voit bien les problèmes que cela pose à travers le nucléaire et les enjeux de confiance qui sont sans doute l'un des enjeux essentiels dans cette affaire." Et d'ajouter : "On peut souhaiter effectivement qu'il n'y ait pas ce type de controverse que l'on connaît actuellement sur les OGM. Cela dit, on peut se demander quand même s'il n'en faudrait pas un petit peu parce que, précisément, cela risque de nous revenir dans la figure sans qu'on s'y attende!" L'expert a conclu : "Peut-être qu'il faut précisément prendre le temps de se poser ces questions-là, pour éviter des syndromes

1. Cf. la publication des actes du colloque, Sénat, 2004.

OGM qui seront absolument très ennuyeux pour l'industrie par la suite." À sa façon, il venait de résumer la seule préoccupation des industriels et de la majorité des chercheurs et des décideurs politiques. Aucun des sénateurs présents ce jour-là n'a formulé la moindre objection sur cette manière singulièrement étroite de poser le problème, ni ne s'est interrogé sur l'état des connaissances sur la toxicité des nanos.

Au printemps de la même année, un rapport sénatorial autour du sujet était déposé au bureau du Sénat¹. On y trouve une abondance de considérations économiques, mais pas non plus le moindre mot sur les risques toxicologiques.

FULLERÈNES : DES DANGERS POINTÉS DÈS 1996

Hors des sphères directement politiques, de plus en plus d'études et de rapports alarmants s'accumulaient. Et pas seulement en France. On peut dire qu'à l'étranger l'inertie des autorités obéissait, à quelques détails folkloriques près, à la même stratégie. Au Canada, le rapport qui sortait en même temps que la synthèse française de l'AFSSET, en 2006, rédigé par l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) s'inquiétait. Il recensait lui aussi les études réalisées jusqu'au début de l'année 2005². L'état des connaissances toxicologiques qu'il dressait sur les fullerènes, les nanotubes de carbone et d'autres aurait dû faire bondir le plus blasé des ministres de la Santé. Voici ce qu'on pouvait lire dès la première page : "Les nanoparticules insolubles ou peu solubles sont les plus préoccupantes et plusieurs études ont démontré que certaines peuvent franchir les différentes barrières de protection des organismes vivants. Ainsi, ces nanoparticules inhalées peuvent se retrouver dans le sang en ayant

franchi tous les mécanismes de protection respiratoire ou gastro-intestinale et se distribuer ainsi dans les différents organes et s'accumuler à certains sites spécifiques. Elles peuvent voyager le long des nerfs olfactifs et pénétrer directement dans le cerveau tout comme elles réussissent à franchir les barrières cellulaires."

Les rapporteurs constataient que les chercheurs, dans leur quasi-totalité, avaient démontré que la toxicité d'une substance s'amplifie quand elle se présente sous forme nanométrique. Ce phénomène s'explique par le fait que l'état nanoparticulaire multiplie la surface de contact avec le milieu vivant où les éléments se trouvent, ce qui intensifie les échanges physico-chimiques entre eux et lui.

Le document rappelait que les études ont révélé les dangers des fullerènes dès 1996, en particulier le fait que ces nanos traversent la barrière placentaire des animaux testés et se distribuent dans tout l'embryon, provoquant malformations et mortalité¹. De fait, ce passage aurait dû immédiatement être pris en compte car on pouvait retrouver un effet similaire sur l'embryon humain. Précisons que les expériences sont menées sur des souris parce que les rongeurs constituent une bonne référence toxicologique pour anticiper les risques chez l'homme. Ce protocole correspond d'ailleurs à l'obligation de tester d'abord toute nouvelle substance sur des animaux dans des conditions de laboratoire avant d'autoriser sa commercialisation, les expériences sur l'homme étant interdites (sauf pour les médicaments en phases 3 et 4, après les évaluations animales). On l'a vu, les producteurs de nanos ont transgressé ces obligations, ce qui revient à dire que c'est la population exposée aux nanos qui fait figure de cobayes.

Compte tenu de la vaste production industrielle des fullerènes – ils ont été parmi les premières nanoparticules introduites sur le marché et sont devenus au début des

1. Claude Saunier, rapport n° 244 (2002-2003), Sénat, 8 avril 2003.

2. Rapport IRSST, 2006.

1. Tsuchiya *et al.*, 1996. Cf. *infra*, p. 218, sur les effets toxiques répertoriés des différentes familles de nanos.

années 2000 l'un des types de nanos les plus utilisés¹ –, il est incompréhensible que des mesures n'aient pas aussitôt été prises pour endiguer le danger. On s'en étonne encore plus en lisant dans le même rapport que le fullerène C60 (le premier fullerène découvert en 1985 et qui a valu le prix Nobel de chimie à ses trois inventeurs en 1996²) peut entraîner aussi des dysfonctionnements du foie chez l'homme (évaluation *in vitro* sur foie humain autopsié, publiée en 1998³). Et l'on n'en croit pas ses yeux en découvrant au fil des pages que des fullerènes ont des effets cancérigènes sur les cellules humaines (démonstration *in vitro* publiée en 2004⁴), outre des propriétés mutagènes sur les salmonelles, bactéries dont notre organisme n'apprécie déjà pas du tout les propriétés actuelles.

L'un des trois lauréats du Nobel décerné pour la découverte des fullerènes n'était autre que Richard Smalley, le fameux chimiste qui s'était employé à fustiger Eric Drexler pour ses déclarations préoccupantes contre des nanotechnologies développées sans précaution. On ignore ce qu'il a pensé en apprenant la toxicité des fullerènes, lui qui participait à leur commercialisation. On ne sait pas non plus si les études ont été portées à sa connaissance avant qu'il meure, en 2005, d'une leucémie.

Les nanotubes de carbone, fullerènes cylindriques d'une exceptionnelle résistance, se sont rapidement imposés dans le peloton de tête des productions, aussi bien dans les articles de sport que dans les équipements automobiles ou aéronautiques. Hélas, ils étaient aussi en train d'apparaître aux yeux des toxicologues comme particulièrement

1. Leurs propriétés (conductivité, effets de structuration, lubrification) ont suscité de nombreuses applications, notamment en cosmétique, en électronique, dans le domaine pharmaceutique. Bouchard *et al.*, "Extraction and high-performance liquid chromatographic analysis of C₆₀, C₇₀, and [6,6]-phenyl C₆₁-butyric acid methyl ester in synthetic and natural waters", *J. Chromatogr. A*, vol. 1203, n° 2, 2008, p. 153-159.
2. Robert F. Curl, Harold Kroto et Richard Smalley.
3. Iwata *et al.*, 1998.
4. Sayes *et al.*, 2004.

redoutables. Les expériences ont rapidement révélé que les nanotubes de carbone qui pénètrent dans l'appareil digestif (après inhalation et descente dans l'œsophage) passent à travers la barrière gastro-intestinale et peuvent atteindre la majorité des organes et tissus¹. Ils ne sont pas non plus stoppés par les membranes des cellules où ils s'accumulent et pénètrent dans le noyau cellulaire², y compris chez l'humain³. Des brins d'ADN s'enroulent autour de certains nanotubes de carbone⁴. Selon les auteurs du rapport de l'IRSST, il y a tout lieu de craindre que cette interaction perturbe la réplication et la transcription des gènes. Les nanotubes de carbone sont aussi toxiques pour les cellules de reins d'embryons humains (tests *in vitro*⁵). Ils entraînent des phénomènes d'apoptose (suicide des cellules⁶).

Leur toxicité affecte en outre les cellules pulmonaires et bronchiques chez l'être humain (perte de viabilité, augmentation de l'apoptose, stress oxydatif⁷...). La mise en évidence de ce phénomène, dont on savait qu'il entraînait la mort chez le rat par prolifération cellulaire pulmonaire, augmentation des granulomes et blocage mécanique des voies respiratoires supérieures, est restée dans les tiroirs⁸.

Enfin, mais cela pouvait presque paraître accessoire au regard des autres atteintes, les chercheurs avaient remarqué que les nanotubes de carbone étaient toxiques pour la peau chez les travailleurs exposés⁹.

Le rapport de l'IRSST poursuit son tour d'horizon sur d'autres types de nanos sans nous redonner le moral, sinon quelques espoirs quand il aborde les possibilités d'élaborer

1. Wang *et al.*, 2004.
2. Pantarotto *et al.*, 2004.
3. Monteiro-Riviere *et al.*, 2005.
4. Zheng *et al.*, 2003.
5. Cui *et al.*, 2005.
6. *Ibid.*
7. A. Shvedova *et al.*, 2003b.
8. Warheit *et al.*, 2004-2005.
9. A. Shvedova *et al.*, 2003a.

de meilleurs traitements contre les tumeurs. Mais il souligne que les chercheurs devront lever certains obstacles de taille. Il note en effet que les recherches en pharmacologie ont identifié des façons d'encapsuler les molécules pharmaceutiques pour les conduire vers les cellules cancéreuses à détruire, mais relève aussi que les "puits quantiques" (nanocristaux sphériques de 1 à 10 nm de diamètre) qui pourraient servir de vecteurs altèrent l'ADN¹.

Ses conclusions n'étaient pas franchement réjouissantes : "De par leur taille, les particules nanométriques peuvent franchir les organes extra-pulmonaires. Ceci implique une migration des particules solides à travers les couches épithéliales et à travers les terminaisons nerveuses, le long des axones neuronaux jusqu'au système nerveux central. Ainsi, des nanoparticules insolubles peuvent se retrouver dans le sang en ayant franchi les mécanismes de protection respiratoire ou gastro-intestinale et se distribuer vers les différents organes, partout dans l'organisme, incluant le cerveau et être stockées à l'intérieur même des cellules. Ces propriétés sont actuellement très étudiées en pharmacologie car elles pourraient permettre d'utiliser des nanoparticules comme vecteurs afin d'acheminer des médicaments à des sites ciblés de l'organisme. En contrepartie, des nanoparticules pourront se retrouver distribuées un peu partout dans l'organisme des travailleurs qui les inhalent. Or, plusieurs de ces nanoparticules ont démontré des effets toxiques importants²."

Le rapport achève son inventaire des études qu'il a retenues à l'époque et note de nombreux autres dangers. Les autorités françaises ont-elles préféré attendre le rapport de synthèse de leur propre administration ?

1. Green et Howman, 2005.

2. Rapport IRSST, p. 34.

UN DANGER PAR INHALATION, INGESTION OU CONTACT

Cette excuse ne peut pas être invoquée. Les services français avaient eux-mêmes produit des rapports qui alertaient avec insistance le gouvernement. Ainsi, un service gouvernemental – le Comité de la précaution et de la prévention (CPP) – avait souligné le problème en mai 2006, et s'en était gravement ému dans un rapport qui abordait le problème de façon très explicite : *Nanotechnologies, nanoparticules – Quels dangers, quels risques*¹ ? "Les perspectives économiques justifient les considérables efforts de recherche et développement sur les nanotechnologies", notait aimablement le CPP, évitant de froisser d'emblée le puissant ministère de l'Économie et les lobbies industriels, avant d'ajouter : "Le contraste n'en est que plus frappant avec le caractère encore très limité des études d'impact sanitaire des nanotechnologies de leur production à leur destin final (déchets) et la proposition très insuffisante des enveloppes budgétaires destinées à ce type d'investigation²." Et d'insister : "Il importe de rééquilibrer les financements de la recherche publique sur les nanotechnologies, dédiés pour une part à l'évaluation du risque et pour une autre part au développement de ces nanotechnologies³."

Ce document, il est vrai, n'était pas vraiment de ceux que le ministère de l'Économie et des Finances aime consulter. Le CPP étant de surcroît un service du ministère de l'Environnement, il est plutôt ressenti comme une source de contrariété par la direction de Bercy, persuadée que la prévention constitue plutôt un frein au développement industriel et économique. C'est là un vieux problème qui opposera encore longtemps les économistes du court terme et ceux qui considèrent que le manque de prudence se paie plus cher à moyen et long terme par des

1. Rapport CPP, 2006.

2. *Ibid.*, p. 5.

3. *Ibid.*, p. 8.

surcoûts en maladies et en mortalité que les mesures préventives en amont.

Le CPP relevait qu'au regard des études scientifiques déjà existantes, il fallait réagir sans plus de retard :

De multiples arguments indiquent l'existence d'une réactivité biologique particulière des nanoparticules en rapport avec leur très petite taille, comparée à celle qui est observée avec des particules de même composition mais de plus grande taille (de l'ordre du micromètre ou plus). Cette réactivité cellulaire et tissulaire peut constituer un danger chez l'homme si celui-ci est exposé par inhalation, ingestion ou passage transcutané, à ces particules. [...] Il convient de procéder au plus vite à un recensement et à une description précise des filières de production, d'utilisation, et d'élimination des nanoparticules, de leur potentiel de développement, enfin du nombre actuel de travailleurs exposés et de celui à prévoir dans le futur. Il faut également identifier de façon précise les flux de nanoparticules manufacturées, et les formes sous lesquelles elles sont conditionnées, transportées, et mises en œuvre. Les filières de recyclage et d'élimination devraient également être recensées. Enfin et plus généralement, le devenir des nanoparticules doit être pris en compte depuis leur production, jusqu'à leur élimination, par exemple par intégration dans des particules de plus grande dimension¹.

Le rapport ne se souciait pas seulement des personnes soumises à des expositions intenses dans le cadre de ces filières, qu'il recommandait impérativement de soustraire aux contaminations ou de les en protéger, il indiquait : "Il est nécessaire d'identifier les populations susceptibles d'être exposées aux nanoparticules (travailleurs, consommateurs, population générale²). Et, par-delà les "tests de toxicité

1. *Ibid.*, p. 6.

2. *Ibid.*, p. 7.

applicables à la détermination rapide des effets toxiques des nanoparticules", il demandait que des études épidémiologiques soient lancées pour suivre leurs effets sur ces différents groupes.

La diffusion des nanos dans les écosystèmes et leur concentration prévisible dans certains organismes l'alarmait aussi, en particulier les "risques d'accumulations intracellulaires et de transmission à l'homme par la voie alimentaire; il en est de même pour les organismes des sols ou benthiques, qui peuvent ingérer des matériaux solides contaminés par des nanoparticules". Le CPP demandait enfin que l'on évalue "à partir d'études menées sur les effluents liquides, le devenir des nanoparticules dans les boues des stations d'épuration et les matières en suspension rejetées dans les rivières". Cette fois, la responsabilité des gestionnaires privés et publics de l'eau se trouvait engagée. Normalement, les uns et les autres auraient dû prendre conscience de l'importance de leur rôle face à la diffusion des nanos et réagir. Qui plus est, réfléchir aux nanos qu'eux-mêmes commençaient à utiliser pour traiter l'eau...

Les autorités politiques destinataires du rapport pouvaient aussi y lire des passages d'une grande fermeté : "Les déchets solides (filtres, conditionnements...) doivent être conditionnés dans des emballages fermés pour leur manipulation jusqu'à l'incinération ou le retraitement. L'air et les rejets liquides des industries de nanoparticules doivent être traités et les rejets faire l'objet d'une surveillance appropriée. Les missions des administrations déconcentrées de l'État (DRIRE, DRASS, DIREN...) devraient s'élargir à la surveillance territoriale des installations de toute nature traitant de nanoparticules et veiller à une interaction avec les autorités réglementaires nationales et européennes¹."

Le CPP n'en était d'ailleurs pas resté là et alertait le gouvernement sur les inquiétudes de certains observateurs

1. *Ibid.*, p. 9.

concernant certaines conséquences “techniques” : “L’une des craintes suscitées par le développement des nanotechnologies est la perte de contrôle de processus de fabrication de nanomachines chargées de s’autorépliquer, menant à une multiplication exponentielle et aboutissant pour finir à une consommation de l’ensemble des molécules utilisables sur la planète pour cette fabrication, espèce humaine comprise.” Rappelant que cette hypothèse ne faisait pas l’objet d’une analyse dans son avis, le CPP soulignait néanmoins que “certaines applications ou usages devraient susciter une particulière vigilance : ainsi les processus de séparation isotopique de radioéléments pourraient être grandement facilités par les nanotechnologies. Une interprétation possible est que la fabrication d’armes nucléaires va s’en trouver simplifiée.”

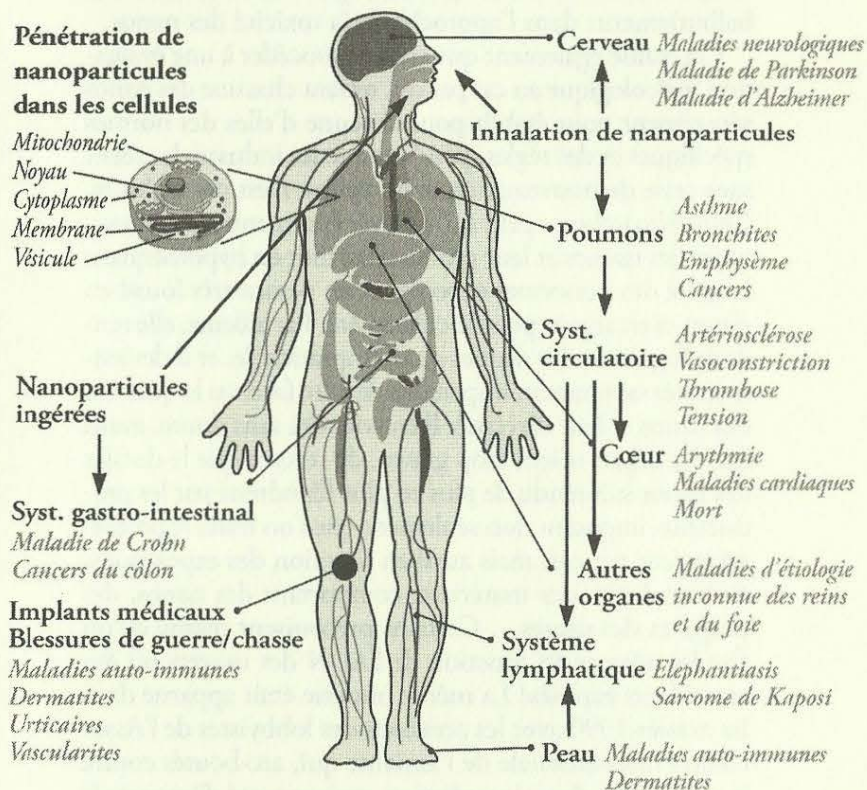
L'INVASION DES NANOS

En 2007, une grande étude de synthèse menée par une équipe de chercheurs canadiens dressait un panorama des différentes voies d’accès dans l’organisme des particules de dimension nanométrique et de leurs effets délétères¹. Pour mieux rendre compte de la multiplicité de ces voies de pénétration et des principales pathologies induites, ils les synthétisaient par un graphique représentant un corps humain avec des légendes très explicites. On prend mieux conscience, par cette visualisation, de l’ampleur du problème (voir illustration n° 7).

Cette étude sur les “nanomatériaux et les nanoparticules, leurs sources et leur toxicité” intégrait aussi les nanoparticules produites de façon non intentionnelle (diesel, fumées...), c’est-à-dire celles qu’il est désormais convenu d’appeler particules ultra-fines (Pufs). Les chercheurs soulignent que les effets des nanoparticules sur la

1. Cristina Buzea *et al.*, 2007.

Illustration n° 7. Maladies associées à l'exposition à des nanoparticules.



Source : C. Buzea, L. Pacheco, & K. Robbie, *Nanomaterials and Nanoparticles: Sources and Toxicity*, Biointerphases 2 (2007) MR17-MR71.

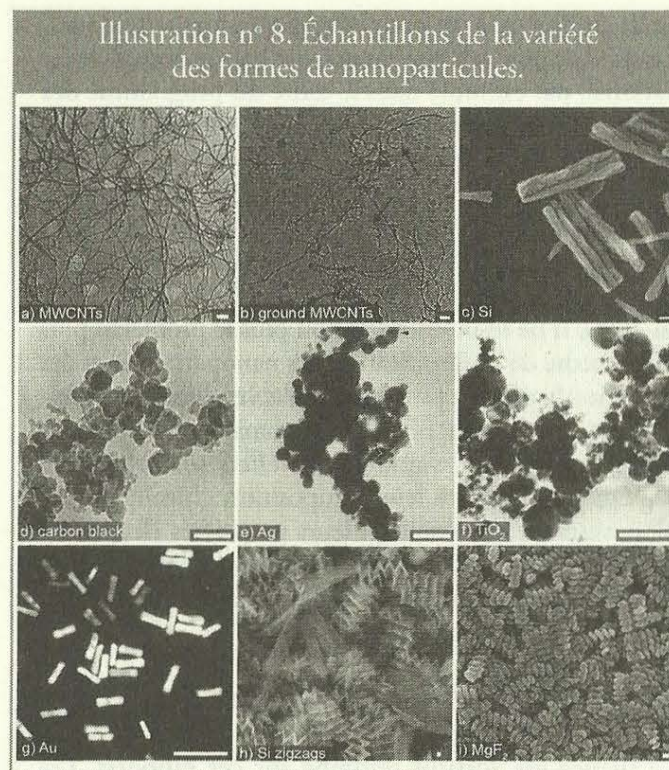
santé étaient déjà documentés scientifiquement (par la toxicologie et l'épidémiologie humaines) avant la “révolution nanotechnologique”. Et que les expositions aux particules de dimension nanométrique sont également bien identifiées en tant que facteurs déterminants de mortalité et de maladies. Y compris dans des pathologies cérébrales dégénératives, comme nous l’avons déjà rappelé avec Marie Grosman dans *Menace sur nos neurones* en citant

une grande abondance de travaux scientifiques¹. Ce qui rend d'autant plus insupportable l'hypocrisie qui consiste à dire, comme on l'entend partout, qu'on en est encore aux balbutiements dans l'approche de la toxicité des nanos.

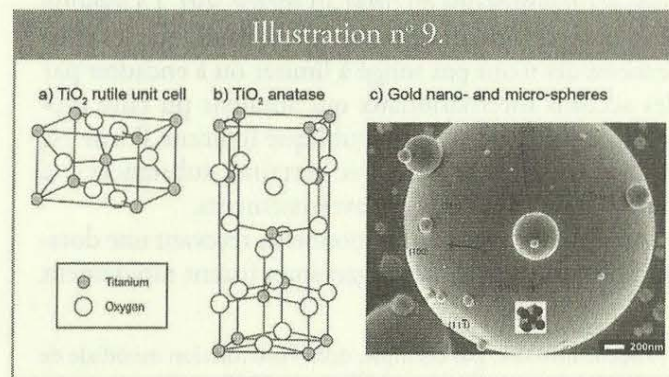
On réalise également que vouloir procéder à une évaluation toxicologique au cas par cas, testant chacune des nanos séparément pour établir pour chacune d'elles des normes spécifiques et des règles, pendant que les industriels créent sans cesse de nouveaux types de nanos, n'est pas adéquat. Cette démarche ne peut qu'aggraver l'écart entre la connaissance des risques et leur production, tout en hypothéquant la santé des personnes exposées et en pesant très lourd en temps et en argent pour la collectivité. Par ailleurs, elle rendrait la gestion des risques quasi impraticable, et il deviendrait très rapidement impossible de faire face, vu la quantité des nanos et leur diversité. Il conviendra sans doute, avant que les dégâts soient trop graves, de refuser que le dossier des nanos soit rendu de plus en plus filandreur par les producteurs imposant non seulement que l'on traite le problème au cas par cas, mais aussi en fonction des expositions, de leur durée, des matériaux comportant des nanos, des usages et des usures... Certains préconisent même qu'on fixe les normes en fonction de l'ADN des usagers ou des travailleurs exposés ! La même impasse était apparue dans les années 1990 avec les pressions des lobbyistes de l'Association internationale de l'amiante qui, arc-boutés contre la perspective d'une interdiction, avaient tenté d'imposer la prise en compte des différentes variétés de fibres d'amiante et d'exposition, autrement dit une démarche au cas par cas. La France, comme de nombreux autres pays, a finalement choisi de mettre un terme à cette vision de plus en plus inextricable et ingérable en les interdisant complètement.

Certains toxicologues préconisent de mettre en place un système d'autorisation au "compte-goutte" qui ralentirait l'arrivée de nouveaux nanomatériaux pour avoir le temps

1. Marie Grosman et Roger Lenglet, *Menaces sur nos neurones. Alzheimer, Parkinson... et ceux qui en profitent*, Actes Sud, 2011.



Source : Elsevier.



Source : Kevin Robbie.

de les étudier un à un pour identifier les nanos toxiques. Ce système pourrait être mondialisé par un accord international, par exemple dans le cadre du programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE). Mais il ne suffirait pas à résoudre une des caractéristiques spécifiques des nanos, la mutation du profil toxicologique de chacune en fonction de son trajet, de ses rencontres et de ses agglomérations, bref de ses aventures physico-chimiques, comme l'avait signalé le rapport de l'AFSSET en 2006. Il ne résoudrait pas non plus le problème plus vaste encore de la densification des nanoparticules et des synergies de plus en plus incontrôlables dues à la multiplication des substances et des nanos mises en circulation. À cette complexité s'ajoutent les effets toxicologiques liés non seulement à leur composition chimique, leur biopersistance, leur taille et leurs propriétés électromagnétiques mais aussi à leurs formes, lesquelles sont déjà nombreuses aujourd'hui (voir illustrations n° 8 et n° 9).

LA MONDIALISATION DES NANOS

Le silence est aussitôt retombé sur ces rapports. Les autres services au sein des administrations des pays étrangers qui ont également remis des enquêtes tout aussi accablantes ont eu droit au même sort. La logique de la compétition et de la mondialisation, que les gouvernements n'ont pas songé à limiter ou à encadrer par des accords internationaux qui auraient pu faire prévaloir le souci de la santé publique (comme il leur est parfois arrivé de le faire avec certaines substances¹), a complètement relégué ces avertissements.

Au-delà des agences traditionnelles recevant une dotation des ministères, des organismes furent rapidement

1. Avec le mercure, par exemple, dont l'interdiction mondiale de la plupart de ses utilisations à l'horizon 2020 est intervenue en 2011-2013 avec le traité de Minamata.

mis sur pied aux États-Unis, au Japon¹, en Chine, en Corée du Sud et en Europe pour recueillir et distribuer la manne apportée par les finances publiques. La France fonçait tête baissée avec ses propres plateformes. On recensait bientôt 35 pays investissant de l'argent public dans les nanos. Et les engagements prévus pour les années à venir ne cessèrent de gonfler...

Au total, en 2013, les États les plus riches avaient déjà sorti ensemble de leurs caisses publiques une centaine de milliards de dollars depuis le début de l'aventure.

Les centres de recherche français profitaient eux-mêmes d'importantes subventions européennes ou hexagonales et passaient toutes sortes de partenariats intercontinentaux, notamment avec des multinationales. De nombreux projets étaient lancés, tel le Bottom-Up Nano-calculator (BUN), en partenariat avec IBM et plusieurs universités, et dont la coordination était confiée au CNRS en 2000². Nano-calculator visait, pour reprendre les mots du directeur du projet, à "construire un calculateur avec un nombre minimum de molécules et idéalement avec une seule, intégrant toutes les fonctions à l'intérieur de cette molécule unique", avec une précision supérieure à 0,1 nm³. De quoi révolutionner tous les systèmes informatiques conçus à ce jour et tous les appareils de communication, ainsi que d'initier de nouvelles générations de nanomachines⁴...

Le CNRS et l'université de Rennes-1 créaient aussi, avec l'université de Zhengzhou (province chinoise du Henan),

1. Le Japon rivalise avec la Chine en recherche au niveau mondial après les États-Unis; la Corée du Sud occupe le quatrième rang. Pour l'étude des risques, le Japon s'est doté aussi d'un organisme spécifique : le Japan National Institute for Occupational Safety and Health (JNIOSH).

2. Christian Joachim, "Nanoelectronics, the bottom-up nano-calculator", CNRS, in *Emerging Technologies. Empowering People in the Information Society*, n° 21, septembre 2004.

3. Christian Joachim, *Final Report Covering period 01.01.2000-30.06.2003*, IST-FET, 2003.

4. Le nano-calculator ne verra pas le jour, son projet sera stoppé trois ans et demi plus tard.

le Laboratoire international associé – Matériaux organophosphorés fonctionnels (LIA-MOF) pour produire de nouvelles substances destinées à accroître les performances des plastiques utilisés en électronique. Les associés ne cachaient pas leur ambition de s'imposer comme un leader mondial. D'autres les imitaient, comme l'université Claude-Bernard de Lyon-1, s'associant au CNRS et au Dalian Institute of Chemical Physics, ainsi qu'à l'industriel chinois le Research Institute of Petroleum Processing (RIPP) à Beijing, dans le domaine de la catalyse pour l'énergie, les traitements de l'eau et le raffinage du pétrole. Peu de temps auparavant, Bernard Barbier, le directeur du Laboratoire d'électronique et des technologies de l'information (LÉTI) au sein du CEA, nouait de son côté des contrats avec des universités américaines, ainsi que NanoQuébec, une structure financée publiquement mais dont le conseil d'administration compte plus de représentants de l'industrie que de l'État. NanoQuébec développe de nombreux partenariats entre le secteur privé et les universités, comme la mission de NanoQuébec l'affiche d'ailleurs ouvertement : "Renforcer les liens entre la recherche et l'industrie pour répondre aux nouveaux défis technologiques". Sans oublier d'ajouter, bien sûr : "Promouvoir un développement responsable". Un autre partenaire du CEA, le Fraunhofer-Gesellschaft, l'un des principaux organismes de recherche en sciences appliquées au monde, situé outre-Rhin, et qui regroupe une cinquantaine d'instituts allemands, est lui aussi un relais entre les chercheurs et les industries, en particulier France Télécom, IBM, Philips, Technicolor... Le tiers de son budget est fourni par les fonds publics.

En 2006, les autorités françaises créaient C'Nanos, "6 centres de compétences" qui, sous l'œil du CEA et du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, allaient mailler l'Hexagone et bientôt fédérer 560 équipes de recherches académiques en nanotechnologies, 48 universités et 44 écoles d'ingénieurs et de techniciens. C'Nanos se développait aussi à l'étranger avec des écoles transnationales en Espagne, au Portugal, en Suisse, en Italie, en Allemagne...

DES COMPLEXES NANOTECHNOLOGIQUES SANS COMPLEXE

"Il s'agit d'un projet magnifique, exemplaire..." Jacques Chirac inaugurait par ces mots, le 27 février 2003 dans la banlieue grenobloise, Crolles II, le grand complexe technoscientifique dédié à la nanoélectronique : pas moins de 35 000 m² de bâtiments flambant neufs et ses équipements *high nanotech*, dont une "salle blanche" de 5 000 m² sans la moindre particule de poussière et maintenue à une température ultra-stable grâce un puissant système de filtration et de climatisation renouvelant 6 millions de mètres cubes d'air par heure. Le groupe franco-italien STElectronics et la multinationale néerlandaise Philips étaient déjà installés sur le site depuis 1992, et l'Américain Motorola les rejoignait. Crolles II devait leur permettre de conjuguer leurs efforts dans la course à la nanominiaturisation de l'électronique des ordinateurs et des téléphones mobiles, en profitant de la générosité de l'État et des collectivités locales s'élevant à 600 millions d'euros. Grenoble accueillait ainsi un nouveau centre industriel de pointe complétant le centre de recherche du CEA et son LÉTI.

Jacques Chirac profitait de l'occasion pour annoncer qu'il comptait faire porter l'effort général de recherche et développement français "à 3 % du PIB, contre 2,2 % actuellement" et qu'il souhaitait "renforcer les liens entre la recherche publique et les investissements privés". Le président rappelait que les nanotechnologies seraient une des priorités et que la France occupait une position très enviable dans ce domaine. En effet, les centres Nanos se multipliaient : Minerve à Paris, IEMN à Lille, UTT à Troyes et CMC2 à Marseille. Tous sous contrat avec l'Asie, les États-Unis et les voisins européens. Et d'autres allaient surgir à Toulouse, Saclay...

D'ailleurs Grenoble allait encore en profiter ! En plus de Crolles II et du Projet Nano Bio déjà en cours de développement, d'autres centres nanos devaient sortir de terre.

Décidément, la capitale de l'Isère avait bien de la chance : entre 2002 et 2005, le gouvernement investissait 150 millions d'euros dans la construction, à Grenoble, d'un immense complexe technoscientifique privé pour travailler sur les nanotechnologies : le Minatec. Il allait regrouper 2 400 chercheurs, 600 industriels, et intégrerait des structures du CEA, des laboratoires de recherche, des écoles d'ingénieurs en électronique, en physique, en chimie et en design industriel, des plateformes en biotechnologie et en circuits intégrés...

“PIÈCES ET MAIN-D'ŒUVRE, AVEZ-VOUS DIT ?”

Le jour de son inauguration, le 2 juin 2006, les grands médias qui couvraient l'événement ne prêtèrent pas une grande attention à la manifestation d'un millier de personnes et d'un groupe d'opposants locaux regroupés sous le label Pièces et main-d'œuvre¹. Ils donnaient pourtant de la voix et organisaient depuis quelque temps des ateliers d'information avec les habitants pour les mettre en garde contre les nanos. Ce jour-là d'ailleurs, averti de la manifestation, l'Élysée avait pris la décision de faire excuser Jacques Chirac, craignant d'attirer l'attention de la presse sur leurs critiques. Ils contestaient la légitimité du Minatec pour de nombreuses raisons : le coût exorbitant de ce type de projet pour la collectivité, sa logique technocratique éloignée des besoins et des aspirations de la population, sans oublier les menaces que les nanotechnologies font peser non seulement sur la santé et l'environnement mais aussi sur la société tout entière à travers une maîtrise toujours plus sophistiquée des êtres vivants et de l'homme en général². “Ce fut la première manifestation anti-nanotechnologique au monde”, écrira Brice Laurent, ingénieur des Mines et sociologue, analyste des

1. Voir le site www.piecesetmaindoeuvre.com

2. *Ibid.*

mouvements sociaux et des politiques mises en œuvre autour des nanotechnologies¹.

Ces opposants n'étaient plus tout à fait des inconnus pour le ministère de l'Intérieur. Les agents des Renseignements généraux avaient fait remonter des notes car les militants se faisaient aussi déjà vivement entendre à l'occasion des forums que les autorités organisaient dans toute la France pour ouvrir des “espaces de discussion” avec la population. Ils ont contribué à faire savoir que ces forums cachaient derrière une apparente “invitation au dialogue” un objectif unique, parfaitement clair du côté des industries et des pouvoirs publics : “installer un climat de confiance” pour éviter un refus massif de la population qui risquait de reproduire le refus des OGM, voire une contestation sur un mode encore plus radical. Les experts officiels participant à ces tables rondes n'avaient pas véritablement envie d'entendre les critiques et l'évocation des études toxicologiques alarmantes, ils visaient à amadouer, à créer le sentiment que les autorités et les producteurs de nanos étaient ouverts et vigilants. Il s'agissait pour eux de convaincre un maximum de gens que les peurs étaient dictées par des motifs irrationnels. Le témoignage de certains d'entre eux, en particulier de sociologues et de philosophes conviés ou rémunérés pour intervenir au sujet des préoccupations sociales et éthiques, a confirmé cette critique. Importée des États-Unis où elle parvient régulièrement à apaiser les inquiétudes, la technique des forums organisés dans les villes par les pouvoirs publics au nom de la “consultation de l'opinion” fut un échec complet en France : le grand public n'y vint pas et diverses associations présentes ont vivement dénoncé la finalité de ces rencontres².

Apparemment indifférent aux critiques et aux actions des militants rassemblés sous le nom d'Opposition grenobloise aux nécrotechnologies (ONG) qui continuaient

1. Brice Laurent, *Les Politiques des nanotechnologies : pour un traitement démocratique d'une science émergente*, Charles Léopold Mayer, 2011.

2. Voir le site de Pièces et main-d'œuvre, *op. cit.*

de mener campagne, Minatec devint rapidement l'un des complexes les plus productifs au monde en nanotechnologies. Il passait des contrats avec l'armée et les entreprises voulant utiliser ses compétences, élargissant rapidement son portefeuille de brevets.

L'arrivée de Nicolas Sarkozy à l'Élysée en 2007 n'allait pas marquer de pause, pas plus qu'elle n'allait autoriser un vrai débat national. Le nouveau président de la République poursuivit le programme fixé puis lança un nouveau plan de soutien aux nanotechnologies, Nano-Innov, en le dotant d'une enveloppe de 70 millions d'euros pour 2009. La somme rondelette exprimait la volonté du gouvernement de renforcer toujours plus le soutien public. Elle venait s'ajouter aux 47 millions d'euros déjà pris sur le budget 2009 de l'Agence nationale de la recherche et aux investissements des collectivités locales.

En 2010, 7 établissements du campus de Paris-Saclay proposaient un enseignement des nanotechnologies en créant un master Nanosciences. Parallèlement, le gouvernement faisait construire un immense laboratoire en nanosciences et nanotechnologies dit "NanoSaclay". Ce nouveau centre de dimension internationale intrigue l'élite de la technocratie, soit 24 partenaires dont Thalès, le CEA, l'École polytechnique, l'Institut d'optique *Graduate School*, Supélec, Synchrotron, l'École centrale de Paris, l'ONERA, l'INRIA... Les chercheurs du CNRS inclus au sein de ce puzzle high-tech se sentent tout petits parmi 340 physiciens, chimistes et biologistes... Ils devront travailler en interdisciplinarité, notamment autour de projets en nano-électronique quantique et en spintronique¹, en nanophotonique²

1. Technologie utilisant une propriété quantique (le spin) des électrons afin de stocker des informations.

2. Pour "contrôler les interactions entre la lumière (photons) et la matière (électrons, phonons) à l'échelle nanométrique", notamment en vue de développer la "manipulation optique de nano-objets", "d'absorber ou d'émettre la lumière de façon optimale", "d'exploiter du champ électromagnétique à des échelles sub-longueurs d'onde", etc.

et en nanopharmacie¹. On en attend la conception de divers objets allant des nano-antennes aux nano-émetteurs, en passant par les nanovecteurs de médicaments, les métamatériaux², les nanocristaux ou "boîtes quantiques" aux nouvelles propriétés de luminescence, les structures plasmoniques et les nouvelles technologies de l'information exploitant des "architectures de type neuro-inspirés"...

Lors de l'inauguration de NanoSaclay, le 28 novembre 2011, les promoteurs de ce nouveau "laboratoire d'excellence" diffusaient un communiqué de presse vantant les mérites de ses partenaires : "Les acteurs de NanoSaclay ont déjà démontré leur capacité à la valorisation : 350 brevets et 10 start-up sont sortis de nos 24 partenaires ces dix dernières années".

LES FEUILLES DE ROUTE SONT-ELLES DEVENUES L'AVENIR DE L'HOMME?

Les financements publics pour soutenir les programmes de développement ont créé un appel d'air continu mais sans réelle direction, malgré les apparences et les déclarations officielles. Une immense fourmilière d'industriels, d'ingénieurs, d'hommes d'affaires, de hauts fonctionnaires, de conseillers et de responsables politiques et d'élus s'est ainsi lancée dans un mouvement qu'aucun d'entre eux ne pouvait songer à stopper, y compris parmi ceux

1. Pour les médicaments intégrant des nanos.

2. Les métamatériaux sont des matériaux artificiels composites, construits à partir de structures sub-longueur d'onde. "Ces matériaux artificiels suscitent un grand intérêt du fait qu'ils possèdent des propriétés optiques nouvelles qui n'existent pas dans la nature, ou que ne possèdent pas les matériaux qui les constituent", note une publication technoscientifique d'OpticsValley, partenaire de NanoSaclay, dans la revue *Lumières*, n° 56, mars 2012. Des recherches à ce sujet entrent en particulier dans le projet Metantenna, associant le groupe Nanophotonique et Électromagnétisme (NAPHEL) de l'Institut d'optique et l'Institut d'électronique fondamentale (IEF).

qui étaient gagnés par des inquiétudes, chacun préférant faire comme si la question du choix n'était plus de ce bas monde. Seuls des militants associatifs, quelques observateurs et une poignée d'élus pensaient encore qu'un moratoire était indispensable et possible en prenant le temps des évaluations. Sans doute même une partie de ces derniers doutait-elle qu'un coup de frein à la hauteur des enjeux sanitaires soit envisageable avant qu'une grande catastrophe ait lieu.

La ruée industrielle sur les nanotechnologies appuyée par les États a pris l'allure d'une vaste conquête d'un continent nouveau par des colons débarquant en masses ininterrompues, avec leur propre carte au trésor, les cartographes officiels peinant à identifier leurs déplacements et ceux des troupes, les activités des uns et des autres se multipliant en tous sens.

Ce vaste débarquement une fois lancé, l'idée même d'un moratoire suspendant cet élan pour prendre le temps de réfléchir aux conséquences était encore moins envisageable par les gouvernements. Le principe de "ne pas nuire au potentiel des nanotechnologies", toujours en vigueur, a continué à alimenter l'ampleur du déferlement. Le reste est devenu une simple affaire de communication pour rassurer le public et entretenir le sentiment que des gouvernements décidaient encore.

La suite de l'histoire, du côté des décideurs politiques et des groupes industriels, a été tout bonnement dictée par une prolifération de "feuilles de route" (les "roadmaps") remontant de tous les responsables censés organiser le développement des nanos, des industriels et de leurs équipes de recherche pour officiellement montrer qu'ils progressaient dans la bonne voie, mais surtout pour demander le renouvellement des fonds, des rallonges budgétaires et des renforts logistiques. Des rallonges que les agences d'État satisfont systématiquement, en France comme aux États-Unis. En d'autres termes, l'avenir a été confié aux appétits des acteurs du marché, à leur sens de l'occasion et au pullulement de leurs sollicitations sous la forme de ces

roadmaps rédigées à l'issue de réunions interprofessionnelles où le lobbying joue à plein¹.

Certains responsables, au sein des agences qui distribuent les financements, parlent de "grand merdier". Même dans le domaine militaire où l'on pourrait s'attendre à un minimum de maîtrise des orientations, les généraux plus polis disent que la situation évolue trop rapidement pour qu'une cohérence émerge, et ils concluent à la "nécessité de renforcer la visibilité des opérations menées sur le terrain pour opérationnaliser le futur". Quant aux gouvernements, ils continuent d'ouvrir les crédits. Soyons loyaux avec eux : ils demandent aussi des rapports de synthèse, pendant que les commissions de travail tentent de dessiner des contours en y intégrant les apparences d'une éthique, sans jamais oublier de rappeler les espérances économiques. Cela ressemble à une messe, avec ses chants collectifs, où le salut est sans cesse redemandé aux marchés.

Des rapports d'étape officiels s'accumulent pour résumer les étapes du soutien public et les avancées nanotechnologiques, sans qu'ils distinguent toujours clairement ce qui relève de la vulgarisation, de la science-fiction et des véritables acquis scientifiques, tant les délais restent incertains. Cette confusion règne notamment au sujet de la production d'"organes artificiels nanobios", des "vecteurs de médicaments", voire des "nanohélicoptères" destinés eux aussi à transporter les substances pharmaceutiques sur les sites cellulaires visés. Les "nanosystèmes" capables de s'autorépliquer et d'engendrer des "fonctions émergentes" ont été relégués pour un temps. Notes et rapports rappellent qu'il serait utile de classer les innovations pour mieux hiérarchiser les priorités, mais se contentent le plus

1. Peter Miller et Ted O'Leary ont analysé le rôle de ces *roadmaps* du point de vue des autorités dans "Mediating instruments and making-markets: Capital budgeting, science and the economy", *Accounting, Organizations and Society*, n° 32, 2007, p. 701-734.

2. Si j'ai pu accéder à certaines notes, je ne peux qu'en relater l'esprit et certaines expressions : il m'est hélas interdit de les citer directement car elles relèvent de la sécurité nationale.

souvent de reprendre la classification de Mihail Roco qui dirige la NNI aux États-Unis¹. Cette dernière a l'ambition de conceptualiser les quatre grands types de champs innovants qui se sont successivement ouverts depuis les années 1980 :

- les nanomatériaux manufacturés, dits “nanostructures passives”, qui entrent déjà dans d'innombrables articles commercialisés;
- les “nanostructures actives”, dont les transistors, les amplificateurs 3D et les nanovecteurs ou transporteurs de nanos sont les grandes illustrations²;
- les “nanostructures évolutives”, dits “systèmes de nano-systèmes”, conçus selon des architectures hiérarchisées en trois dimensions et s'adaptant aux besoins ponctuels³;
- les “nanosystèmes moléculaires”, capables d'évoluer “intelligemment” et de se reproduire⁴.

Cette classification laisse apparaître aux observateurs qui ne se laissent pas facilement impressionner que Mihail Roco n'hésite pas à mêler, avec les deux dernières catégories de nanos, la dimension encore anticipatrice, comme s'il s'agissait d'un volet réaliste alors qu'il n'avait pas hésité à la ridiculiser pour discréditer Eric Drexler au tournant des années 2000. Certains y voient un argument promotionnel déguisé dont Roco, finalement, ne veut pas se passer. En revanche, les représentants de la NanoBusiness Alliance évitent encore le sujet. La raison en est simple : ils craignent toujours qu'en parlant “trop tôt” des développements attendus de l'ingénierie moléculaire, on prenne le risque d'épouvanter la population. La hantise de la “glu grise” reste présente.

1. Mihail Roco, “Nanoscale science and engineering: Unifying et transforming tools”, *AichE Journal*, n° 50(5), 2004, p. 890-897.

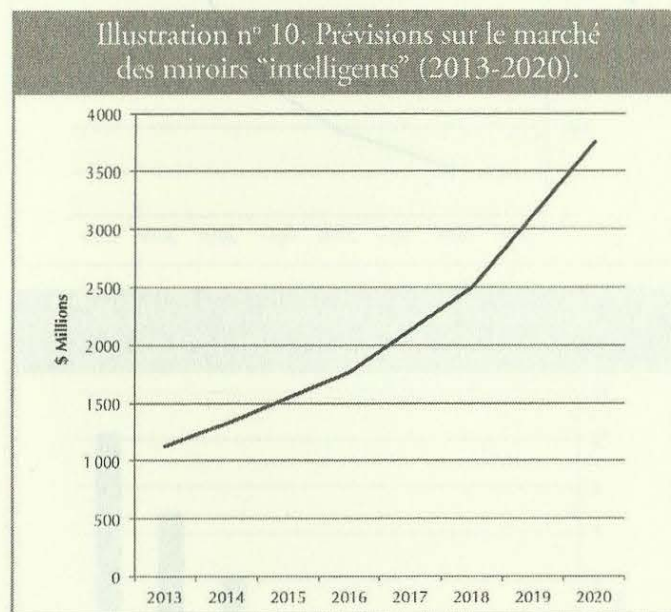
2. *Ibid.*

3. *Ibid.*

4. *Ibid.*

LES NANOS SOUS LA HOULETTE DES AGENCES DE CONSEIL

Le cabinet NanoMarkets offre un bel exemple de promotion des différents marchés des nanotechnologies par des agences privées abreuvant les acteurs économiques de prévisions mirobolantes. Les études que diffuse NanoMarkets dans le monde entier, bardées de graphiques enchanteurs, projettent des courbes qui font rêver les actionnaires. En voici quelques échantillons :



Ces courbes ô combien optimistes se retrouvent d'ailleurs dans les prévisions de marché que la Commission européenne (CE) diffuse, assorties parfois également d'une prévision moins exponentielle pour faire la part des choses. La CE mettra même en avant une hypothèse franchissant les 4 millions d'euros en 2015 (voir illustration n° 13). Les promoteurs des nanos eux-mêmes n'en demandaient pas tant.

Illustration n° 11. Prévisions sur les OLED (diodes électroluminescentes organiques) à base de nanos (2013-2020).

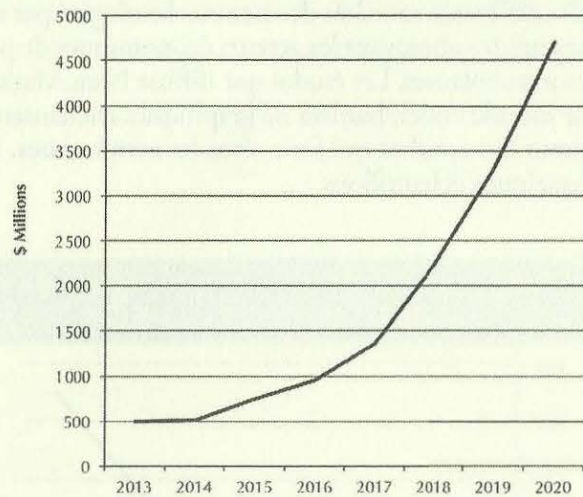


Illustration n° 12. Prévisions sur les OLED à base de bioplastiques (2013-2020).

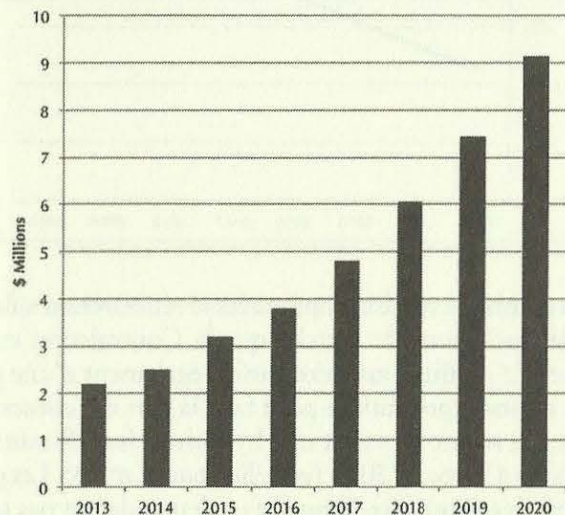
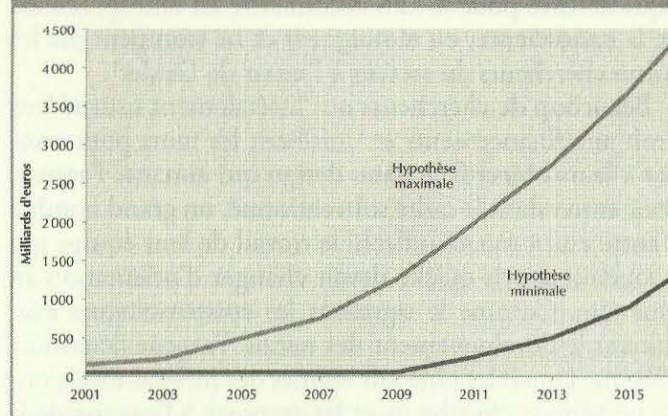


Illustration n° 13. Marché mondial des nanotechnologies.



Source : *The Economic Development of Nanotechnology*, European Commission.

Pourtant, dans certains secteurs industriels, le procédé pour mettre au point des nanos vraiment utiles et fiables s'est révélé plus complexe que prévu. Mais il en faudrait bien plus pour troubler les entrepreneurs, les décideurs politiques et les chercheurs. Aucun de ces acteurs n'était prêt à laisser s'immiscer la moindre réserve. Quelques scientifiques consentent à reconnaître que le développement des nanos rencontrera forcément quelques difficultés ici ou là, mais affirment qu'elles n'arrêteront jamais la révolution industrielle et scientifique. Mieux : le gisement économique découvert autour de ce bouleversement technologique suscite toujours la ruée vers l'or...

Pour tous les laboratoires et les chercheurs qui guettent les orientations des organismes de financement, l'occasion de capter des fonds reste trop belle. C'est d'ailleurs devenu une question de survie pour beaucoup d'équipes de recherche. Cette adaptabilité des scientifiques et de leurs laboratoires au marché a été si prompt qu'ils en rient parfois eux-mêmes ouvertement, tout en déplorant cette dépendance. Certains n'hésitent pas à feindre de travailler sur les nanos en exploitant simplement la sémantique du

nanométrique dès lors qu'ils travaillaient sur des échelles assez petites. Leurs publications, infléchies vers une rhétorique abusive pour se faire reconnaître en tant qu'acteurs de la nanoscience, en témoignent et ne trompent pas les autres chercheurs du secteur à l'instar de Drexler¹.

Beaucoup de chercheurs ont littéralement usurpé leur droit aux financements en cuisinant les mots pour donner à leurs objectifs le nano design qui aime l'argent. Pour entrer dans le cadre subventionné, un grand nombre d'entre eux a même infléchi le travail de leur équipe qui a soudain appris qu'elle devait changer d'orientation au plus vite. Comme le signalent les épistémologues examinant le développement des nanos, l'argent détermine plus que jamais les objectifs mêmes des programmes pour de nombreux chercheurs et les emporte à l'opposé de la haute image que l'on se fait classiquement de la science : "Lever des fonds est devenu une activité majeure, voire une obsession, dans les milieux de la recherche scientifique", explique Bernadette Bensau de-Vincent². L'enjeu n'est plus "de lever un coin du grand voile" mais de pister l'argent. La science vit une révolution inquiétante : "La relation des moyens et des fins se renverse³." Autant dire que la science est devenue addict à l'argent, elle aussi, au point de ne plus parvenir à distinguer recherche fondamentale et recherche appliquée, voire de perdre toute visée humaniste jusqu'en médecine et en biologie, pourvu que le marché s'emballe. Il ne s'agit d'ailleurs pas seulement pour les scientifiques de s'assurer que leur budget sera reconduit l'année suivante, car nombre d'entre eux sont désormais des chercheurs-entrepreneurs thésaurisant sur leurs propres brevets ou ayant des participations financières dans l'entreprise ou la firme qui les emploie.

1. Par exemple Christian Joachim et Laurence Plévert, qui en témoignent dans *Nanosciences. La révolution invisible*, Éditions du Seuil, 2008.

2. Bernadette Bensau de-Vincent, *Les Vertiges de la technoscience : façonner le monde atome par atome*, La Découverte, 2009, p. 5-6.

3. *Ibid.*

Nos idéaux en prennent un coup. On comprend qu'un nombre grandissant de personnes indignées se soucient de redonner quelque valeur éthique aux connaissances et s'associent pour soutenir l'essor de "sciences citoyennes" et d'"expertises profanes"¹.

CHERCHEURS DOUTEUX

Révolté par la confusion régnant entre la méthode de fabrication "*bottom-up*" et celle du "*top-down*", l'un des pionniers français des nanos, l'ingénieur Christian Joachim, n'hésite pas à reprendre à son compte la révolte d'Eric Drexler. Il parle d'une véritable "affaire de détournement" et dénonce cet amalgame comme une confusion savamment entretenue jusque dans les milieux politiques par des groupes de pression industriels². Il rejoint ainsi la cohorte des scientifiques qui veulent marquer leur distance avec le *top-down*, ne lui concédant qu'à contrecœur l'appellation "nanotechnologies" et lui refusant *a fortiori* le label "nanoscience". Par ailleurs, ces chercheurs nous mettent en garde contre la même tendance mercantile à qualifier de "nanotechnologies" les techniques de miniaturisation de l'industrie micro et nano-électronique qui travaillent encore à l'échelle de milliards d'atomes.

De son côté, depuis Oxford, Eric Drexler répète toujours qu'un ralentissement de la recherche en nanoscience aura des conséquences graves pour les États-Unis, dont "l'anéantissement de son statut de grande puissance mondiale". Drexler continue de dénoncer, dans les innombrables conférences qu'il donne partout, l'utilisation de ses idées par de nombreux acteurs douteux ne défendant que le marché juteux des nanos mis à toutes les sauces.

1. À ce sujet, voir les sites www.sciencescitoyennes.org et www.lesperipheriques.org ou www.adequations.org.

2. Christian Joachim et Laurence Plévert, *Nanosciences...*, *op. cit.*, chap. "Récupération politique".

Néanmoins tous deux semblent bien loin de prendre en compte le problème de la toxicité des nanos. La distinction entre la démarche “ascendante”, tenue pour plus innovante et savante, et la production “descendante” massive et plus soucieuse de profits que d’inventions vraiment utiles, jette certes une lumière crue sur la rapacité des industriels et de nombreux ingénieurs prompts à exploiter les filons économiques et les réserves publiques, mais elle reste peu pertinente au regard des enjeux sanitaires concrets pour notre vie ordinaire. Que des nanomatériaux soient d’abord conçus par un agencement de bas en haut par agrégation plutôt que de haut en bas par séparation ne change pas grand-chose au fait qu’ils soient destinés, à terme, à se retrouver disséminés dans notre environnement quotidien. Et cela d’autant que les mélanges entre ces deux types de processus se multiplieront.

Les représentants de l’aristocratie des nanos ne s’expliquent pas à ce sujet. Ils contournent le problème de leur toxicité et des connaissances sanitaires déjà établies. Ce refoulement des alertes scientifiques, plus ou moins adroit selon les acteurs, se retrouve aussi bien chez les lobbyistes que chez les ingénieurs impliqués qui, de fait, se retrouvent dans la position de juges et parties, c’est-à-dire en situation de conflit d’intérêt. Les chercheurs français n’y échappent pas...

EN FRANCE, LES LEADERS DE LA RECHERCHE VEULENT AUSSI RASSURER

Les publications de Christian Joachim en offrent une illustration frappante, faisant comme si les études toxicologiques n’existaient pas, feignant de pouvoir réduire le problème à un doute général. Ces chercheurs se gaussent volontiers contre ceux qui voudraient arrêter le “progrès”. Rares sont ceux qui, au passage, résistent à la tentation de caricaturer le principe de précaution pour le pourfendre¹.

1. Cf. *infra*, p. 181-185.

On retrouve une attitude similaire chez des physiciens qui, du haut de leur réputation, prétendent synthétiser l’état des connaissances en toxicologie par quelques formules bien ficelées pour rassurer, reprenant le refrain pourtant usé disant que “ceux qui ont peur des nanos sont les mêmes que ceux qui redoutaient l’invention de l’automobile au XVIII^e siècle”. Ils oublient fréquemment de rappeler que la toxicologie est une science à part entière qui ne se confond pas avec la physique, qu’elle ne date pas d’hier et que leurs compétences en mécanique quantique ne sont pas un bagage adéquat pour juger des effets des nanos sur les organismes vivants.

Le physicien émérite Étienne Klein n’y échappe pas. Sa renommée en physique et son talent de vulgarisateur qui en font un leader d’opinion influent ne le mettent pas à l’abri de ces facilités quand il aborde la toxicologie, notamment dans *Le Small Bang des nanotechnologies*¹. On sur-saute devant son aplomb et ses finesses de dialecticien : “En l’état des connaissances, les risques liés aux nanoparticules ne peuvent pas être évalués, faute de données suffisantes².” Il n’hésite pas à reléguer les études toxicologiques des nanos derrière l’arbre de cette formule toute en chaussetrapes : “Reste à déterminer précisément les capacités de pénétration des nanoparticules, notamment au travers de membranes comme le placenta ou la barrière hémato-encéphalique, et les effets qu’elles peuvent produire sur l’organisme. C’est l’objectif de la nanotoxicologie, science encore jeune, qui vise à comprendre le devenir des nanoparticules une fois qu’elles ont pénétré dans l’organisme, les réactions qu’elles y provoquent, la manière dont elles sont éliminées ou non.” Il ignore tout bonnement que si le mot nanotoxicologie est de création récente, la toxicologie des nanoparticules est bien plus ancienne.

Il cite dans cet ouvrage qui sert de vitrine française aux nanotechnologies quelques expériences bien choisies parmi

1. Étienne Klein, *Le Small Bang des nanotechnologies*, Odile Jacob, 2011.

2. *Ibid.*, chap. “Questions sur la toxicité éventuelle des nanoparticules”.

les centaines menées sur le sujet, pour dire qu'il ne s'agit que de tests sur des rongeurs et qu'ils ne sont pas réalistes, affirmant que "ces concentrations [en nanos] sont bien supérieures à celles que l'on mesure aujourd'hui dans l'environnement". Magnanime et toujours très rassurant, le physicien clôt le sujet en rappelant qu'en 2009, "le Parlement européen exigeait un étiquetage systématique des composants nanotechnologiques pour les produits de l'agroalimentaire et de la cosmétique". On peut regretter que les étiquetages ne soient toujours pas devenus réalité en 2013 (voir p. 163-170)! Il achève de nous tranquilliser par cette phrase digne des grandes heures du lobby de l'amiante qui prétendait qu'il suffisait de contrôler les usages des fibres pour nous protéger : "Les progrès des connaissances en nanotoxicité conduiront à la fixation de normes d'usage et à de nouvelles réglementations." L'affaire serait donc toute simple. Autrement dit : "Ne vous inquiétez pas, les autorités maîtrisent la situation." Ces formules semblent tirées d'un communiqué de presse du CEA en temps de crise!

On aimerait qu'Étienne Klein montre une plus grande objectivité, laquelle doit passer par un souci d'indépendance, ou au moins par une problématisation de ses propres liens d'intérêts. Il n'est pas insignifiant que le physicien du Commissariat à l'énergie atomique (CEA) ait conçu ce livre en s'appuyant sur un travail mené au sein du CEA, plus précisément du Laboratoire de recherche sur les sciences de la matière (LARSIM) dont il est le directeur et qui dépend du puissant lobby nucléaire. Sans juger ce lien en soi, le minimum est de reconnaître qu'il place ce leader d'opinion en situation de conflit d'intérêt caractérisé.

Il est bon de rappeler que le physicien ne montre pas plus de distance critique sur le risque nucléaire que sur celui des nanos, deux champs d'évaluation qu'il ramène systématiquement à une discussion sur la confusion qui entourerait la notion même de risque¹. Interrogé par des

1. *Ibid.* Et Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques de l'Assemblée nationale et du Sénat, audition publique

parlementaires, en avril 2011, sur la volonté des Allemands de se tourner vers des alternatives à la politique des centrales, il pensait pouvoir en réduire le sens à un phénomène de culpabilité lié au nazisme : "Les Allemands, consciemment ou inconsciemment, se sentent responsables d'avoir créé le climat politique qui a amené les Américains à fabriquer la bombe atomique – la lettre de Einstein à Roosevelt en témoigne [*sic*!]. Cette responsabilité et les dérives de quelques scientifiques nazis les ont profondément traumatisés et expliquent peut-être la particularité du sentiment allemand à l'égard du nucléaire¹." Inutile de préciser que les députés et les sénateurs sont restés bouche bée devant cette puissante analyse suggérant qu'en matière d'évaluation du risque, l'Allemagne fonctionnerait encore avec son cerveau reptilien, de façon associative et émotionnelle.

NOUVEAUX SECRETS MILITAIRES

Le 11 octobre 2013, le prix Nobel de la paix était décerné à l'Organisation pour l'interdiction des armes chimiques (OIAC), chargée de contrôler la destruction de l'arsenal de la Syrie en gaz sarin, en ypérite (gaz moutarde) et en VX, un neurotoxique inodore dix fois plus mortel que le sarin². Les gouvernements ont solennellement salué ce prix, annonçant l'éradication mondiale de ces armes de destruction massive. Même les autorités syriennes, qui venaient d'échapper à une frappe franco-américaine imminente

du 14 avril 2011 dans le cadre du *Rapport sur l'innovation à l'épreuve des peurs et des risques*, 24 janvier 2012, p. 40.

1. Office parlementaire d'évaluation..., *op. cit.*, p. 40-42.

2. Le VX est un composé organophosphoré, développé au Royaume-Uni en 1952, qui reste sur les vêtements après l'explosion. Il peut ainsi contaminer, par inhalation ou contact (cutané ou oculaire), ceux qui s'en approchent. Les premiers réflexes d'une personne exposée doivent être de quitter la zone, de choisir un lieu élevé (le VX est un gaz lourd qui tombe vers le sol), de se dévêtir, de se laver au savon et, bien sûr, de recevoir des soins médicaux.

après avoir usé de gaz toxiques contre la population, se soumettaient à l'idée de rejoindre la coalition des pays signataires des accords interdisant l'usage des armes chimiques.

Derrière les apparences se jouait pourtant une tout autre partition. Car chacun se gardait bien d'évoquer le fait que la course militaire aux nouveaux armements s'intensifiait entre les nations sous des formes si sophistiquées qu'elles renouelaient leur arsenal *chimique* pour en faire un arsenal *nanotechnologique*... Des armes recourant toujours à des substances toxiques mais transformant les molécules classiques pour en faire des "nanogaz intelligents", indétectables et infiniment plus redoutables, capables de flotter très longtemps dans l'air sans se retourner contre l'envoyeur au gré des vents, tuant uniquement la population ciblée en fonction de caractéristiques biochimiques et laissant derrière leur passage l'information cryptée permettant de lire les résultats par satellite. Réactualisation des armes chimiques sous une forme techno-génocidaire, au sens littéral d'une destruction des personnes selon leur réponse biologique.

La stratégie des mots, qui camoufle toujours l'avancée réelle des rapports de forces militaires, a donc habilement gardé en coulisse les nanos : quand le scandale éclatera, les gouvernements n'auront qu'à reprendre l'argument selon lequel les nanoparticules toxiques relèvent du champ de la physique et non de la chimie, comme l'ont fait les lobbys industriels pour soustraire les nanos au règlement REACH le temps de les produire en masse, obligeant le législateur à perdre des années pour élaborer un cadre spécifiquement contraignant. Ceux-là mêmes qui ont tenu le stylo-plume pour signer la convention internationale interdisant les armes chimiques ont soutenu allègrement leur prolifération sous une forme modernisée. Une forme d'ailleurs détectable ni par les satellites ennemis ni par les moyens traditionnels d'identification qui ne disposent pas des systèmes de décryptage.

Pour le dire d'une formule : l'hypocrisie des décideurs en matière d'armement chimique, et plus largement stratégique,

a atteint un sommet. Personne ne voulant se laisser distancer dans cette course infernale et n'envisageant le moindre projet de convention internationale, les grandes puissances courent en tête. Notons au passage qu'une autre hypocrisie s'y ajoute, plus accessoire en comparaison : le silence des États-Unis et de la Russie quant à leur propre retard pour supprimer toutes leurs armes chimiques, comme l'a dénoncé le directeur général de l'OIAC, Ahmet Üzümcü, au moment de recevoir le Nobel¹.

On estime qu'environ un quart du budget américain des nanos va aujourd'hui à la recherche et au développement de leurs applications dans l'armée. Au-delà des diffusions des nanos par aérosols, les applications militaires concernent tout ce qui compose la panoplie du soldat. Les gilets pare-balles en kevlar qui alliaient de grandes qualités de résistance et de légèreté sont en passe de rejoindre les vestes en drap de laine des poilus de 14-18 au musée de la guerre, à côté des bandes molletières et des godillots en cuir. Le nouveau trousseau comportera une cuirasse nanocomposite, des chaussures et des casques intégraux quasi impénétrables et l'ensemble sera capable de diagnostiquer des lésions. Les entreprises se disputent vigoureusement le marché : les armures en fullerènes organiques du groupe Weizmann sont déjà dépassées par des protections moins coûteuses, chimiquement plus stables et encore plus résistantes, composées à partir de nanopoudre de disulfure de tungstène. La société ApNano a expérimenté de son côté le disulfure de titane, quatre fois plus léger que le précédent et capable d'absorber encore mieux les chocs. Ce qui lui permet de protéger aussi bien les soldats que les véhicules². Autre nouveauté, le sac à dos ultraléger à nanopuces et à

1. "Quand des pays braquent les projecteurs sur les armes chimiques d'un autre pays, ils ont évidemment la responsabilité d'accélérer la mise en œuvre de leurs propres engagements [...]. Les États-Unis ont fait de gros progrès, mais ils sont en retard", Ahmet Üzümcü, déclaration publique du 11 octobre 2013, lors de la réception du prix Nobel.

2. Ces informations proviennent du Foresight Institute, qui défend l'idée que les États-Unis doivent posséder l'armée la mieux dotée en nanos.

“mémoire de forme” convertissable en tente ou en bouclier selon les besoins de la situation. Les légions auront droit aussi aux nanodopants à la place des anciens psychotropes et des vieux remontants pour accroître plus efficacement l’énergie, la récupération à l’effort et la résistance au sommeil... N’oublions pas les prothèses actionnables décuplant la force des membres, tels les “gants modifiés” qui confèrent aux mains la puissance de broyeuses et la précision de pinces multiples. Gardons en guise de digestif les annexes portables, volantes ou rampantes pour surveiller les ennemis, les pister et les détruire avec des explosifs surpuissants mais discrets...

L’armée embauche des droïdes et des acteurs privés

Comme dans le cinéma 3D, des cohortes de robots multiformes commencent à quitter l’écran pour s’avancer dans l’espace réel : leurs prototypes, bardés de nanos, sont expérimentés en vue de les faire intervenir concrètement sur les champs de bataille aux côtés des soldats. Ou mieux, sous leurs ordres pendant que ces derniers restent en retrait devant leur vidéo dans des garnisons situées à des centaines de kilomètres du front.

Les recherches à ce sujet prévoient que les fantassins soient en outre couplés à ces machines-soldats par des nano-électrodes cérébrales leur permettant d’envoyer des ordres en temps réel, comme s’il s’agissait du corps et du cerveau même de chacun. Suprême avantage, le droïde assure un retour d’information à chaque seconde vers les neurones du soldat resté à l’arrière. Toutes sortes d’informations, dont celles issues des capteurs ultra-sensoriels des robots, c’est-à-dire des données sonores inaudibles pour l’ouïe humaine, une visualisation paramétrée à très longue distance, avec un repérage balistique immédiat, des localisations radars, etc. Ces droïdes sont déjà en cours d’essai sur des bases américaines et britanniques. Dans la même veine, certains travaillent à l’implantation des capteurs

ultra-sensoriels directement sur l’homme. Les centres d’expérimentation à ce sujet ne sont d’ailleurs pas tous confinés derrière de hauts barbelés reliés par des miradors. Des spécialistes de cybernétique travaillent directement au sein des campus à la convergence NBIC (Nano-bio-informatique-cognitive) appliquée à l’interface cerveau humain-ordinateur. Ainsi Kevin Warwick, qui occupe la chaire de cybernétique de l’université de Reading, au Royaume-Uni, mène ce type de recherche dans le cadre de son laboratoire. Il se réjouit de faire commander l’un de ses propres bras par un ordinateur ou de diriger un fauteuil roulant par de simples décisions mentales.

On pense fatalement aux héros fantastiques des *comic books*. Mais l’homme capable de percevoir directement les ultrasons et de se coller aux parois verticales sera sûrement moins sympathique que Superman et le gentil Spider-Man qui défendent la population américaine contre les super-vilains.

La prolifération mondiale des nanos à but militaire et les réalisations en cours atteignent un tel niveau qu’un projet est né de créer une agence internationale sous l’égide de l’ONU, à l’instar de l’Agence internationale de l’énergie atomique (AIEA), qui aura pour mission de contrôler et de limiter le développement de ces applications militaires. Seul le recours aux analogies rend bien compte de l’ampleur des bouleversements qui, finalement, vont très au-delà de la comparaison avec les équipements de la Grande Guerre, sans craindre l’inflation verbale : devant l’équipement en nanotechnologies, le bardage conventionnel et la kalachnikov font figures de peau de bête et de silex biface. C’est justement une analogie de cette nature qu’emploie l’épistémologue et physicien Jean-Pierre Dupuy quand il aborde le volet des armes de destruction massive que la technoscience et les nanos rendent désormais réalisables : “Des armes qui seront à la bombe d’Hiroshima ce que celle-ci était à la fronde.” Une formule que reprenait la sénatrice Marie-Agnès Labarre lors d’un débat sur les nanotechnologies au Sénat, en juin 2010, pour signaler que “les premiers

essais auraient été effectués¹”. Dans leur majorité, les sénateurs ne s’en sont pas émus outre mesure, déléguant la responsabilité des décisions touchant à la défense nationale au capitaine du navire, qui était alors Nicolas Sarkozy.

Non seulement les chefs d’états-majors se taisent sur tout cela, mais ils se murent aussi dans le silence au sujet des conséquences de ce type de guerre sur la population civile. Quelles seront les suites à moyen et long terme d’un conflit nanotechnologique? Et, même en temps de paix, en cas d’explosions accidentelles ou volontaires, d’incendies ou d’attentats, que se passera-t-il si des bâtiments ou des laboratoires contenant des nanoparticules dangereuses sont endommagés? Et si ce type de désastre touche des laboratoires où ils sont stockés? Ce qui s’est passé après le 11 septembre 2001, et que seuls les New-Yorkais ont vraiment suivi en détail, est un bon exemple de l’ignorance qui règne par rapport aux risques de ce type. Après l’effondrement des tours du World Trade Center, le nuage de poussières qui s’est répandu sur la ville était chargé de fibres d’amiante microscopiques qui ont gravement contaminé une partie de la population et dont les conséquences se soldent maintenant par des mésothéliomes et des cancers des voies pulmonaires... On peut comprendre que les autorités ne veuillent pas affoler la population, mais il est inexcusable que la prévention reste ainsi enlisée. Et en cas de catastrophe, chacun réagira sans connaître les bons gestes et les comportements à éviter².

En attendant, l’armée renouvelle sa vitrine. Au cours des dernières années, les centres militaires ont multiplié les partenariats avec les universités et les entreprises, ce qui leur attire au passage de nouveaux contingents de cerveaux séduits par la “modernité” des nanotechnologies et des sciences

1. Séance du 17 juin 2010, intervention de Marie-Agnès Labarre.

2. Dans les jours qui ont suivi l’attentat contre les tours, beaucoup de New-Yorkais ignoraient, par exemple, qu’il fallait mouiller les couches de poussière avant de les balayer et de les jeter, tout comme il fallait absolument porter un masque de haut niveau de protection, éviter de passer l’aspirateur, etc.

convergentes. L’Institute for Soldier Nanotechnologies (ISN), qui appartient à l’armée américaine, travaille ainsi avec le MIT et de nombreuses industries pour concevoir et faire évoluer les recherches améliorant les performances des troupes, dans le cadre du Army Labs Summer International Program. Il invite les étudiants à “venir travailler dans les centres de recherche de l’armée”. Et les industriels rejoignent en nombre grandissant l’ISN Industry Consortium pour développer des échanges avec la défense nationale : on y retrouve notamment Nike, Total, 3M et une légion de start-up. L’ISN continue d’élargir ses relations avec la société civile et invite le maximum d’entreprises innovantes à lui “apporter leurs compétences ainsi que leur enthousiasme pour l’amélioration de la survie du soldat du futur¹”.

Les libellules de l’armée française

Les pigeons ont beaucoup servi au cours de la dernière guerre mondiale pour porter des messages au nez des détecteurs d’ondes radio. Nous allons les laisser tranquilles à l’avenir car l’armée du futur va recourir à des “oiseaux” beaucoup plus discrets et polyvalents, voire à des “insectes” un peu spéciaux. Les noms que les ingénieurs militaires leur donnent sont tantôt effrayants tantôt ravissants : libellule, colibri, *bionic hornet* ou frelon bionique...

Conçu par la jeune société SilMach, le nanodrone Libellule, la version française du Colibri de l’armée américaine, a reçu le prix Science et défense 2005. Cette distinction décernée par la Délégation générale pour l’armement (DGA) récompense chaque année des contributions technologiques intéressant la Défense nationale. Du coup, la DGA s’est aussi récompensée elle-même cette fois-ci puisqu’elle est à l’origine du projet lancé en 2003. La libellule en question, avec ses 6 centimètres d’envergure, vole et virevolte

1. Ces formules d’appel figurent sur le site officiel de l’ISN : web.mit.edu/isn

grâce à quatre ailes agitées chacune par 180 000 nanomuscles en silicium pas plus gros que des globules blancs. Le système de propulsion ne pèse que 20 milligrammes. "Avec ses instruments de bord, le drone ne dépassera pas les 120 mg de son modèle biologique", explique SilMach. Autre avantage, il n'émet pas de bruit. Ses nanosystèmes de navigation copiés sur les véritables libellules et sa technologie MEMS² assurant son énergie lui permettront de se mouvoir et de communiquer des observations depuis les airs.

Il est prévu de faire de cette créature "microbionique" un compagnon des soldats français à partir de 2020, y compris pour donner des indications sur les forces adverses dans les villes. À 1 000 euros l'unité, elle devrait équiper les bataillons. Le petit hic, pour les comptables, est que la libellule est périssable, ou plutôt "jetable". Certes, le soldat n'aura pas le temps de s'attacher à sa libellule, mais il faudra la renouveler souvent et le budget de la Défense n'étant pas extensible, l'état-major limitera les stocks en attendant l'arrivée d'un modèle durable.

Voilà à quoi ressembleront les nouvelles armes que les armées modernes se préparent à utiliser lors des prochains conflits. Certaines d'entre elles sont déjà connues du public grâce aux films de science-fiction qui n'ont pas attendu le mariage de la robotique et des nanotechnologies pour anticiper les engins du futur. C'est le cas du fameux frelon bionique, mini-robot volant capable de s'introduire subrepticement n'importe où pour neutraliser des soldats ou pour transmettre des informations sur le lieu qu'il inspecte. Un œil volant capable de tuer.

LA POLICE NATIONALE FRANÇAISE DÉJÀ PRÊTE

Selon les objectifs, ces drones sont conçus avec des tailles très variables et offrent une large palette d'oiseaux et d'insectes.

1. www.silmach.com/microbionics_fr.html

2. Microsystèmes électromagnétiques.

Des "mouettes" au corps et au battement d'ailes parfaitement imité sont disponibles pour transporter du matériel. En plus insidieux, le nanomoustique peut vous suivre et vous piquer aussi subrepticement qu'un petit anophèle. La CIA travaille conjointement avec l'armée sur le perfectionnement de ce minuscule drone destiné à prendre des échantillons d'ADN et à injecter sous la peau des nanopuces RFID (*Radio frequency identification*) avec émetteur, plus performantes que celles qu'Hitachi a réalisées en 2003, et plus petites qu'un grain de sable.

Un livre entier ne couvrirait pas toutes les applications nanotechnologiques à finalité militaire : du renforcement des blindages jusqu'à la miniaturisation des bombes, en passant par le téléguidage des missiles, la sécurité des installations, la coordination satellitaire, l'affinement des techniques de communication et de surveillance... Ces dernières applications intégreront sans doute tôt ou tard l'éventail des moyens d'investigation et de surveillance de la police nationale et des renseignements intérieurs. Le drone Elsa (engin léger pour la surveillance aérienne) en forme de grands oiseaux équipe la police française depuis 2008 pour surveiller les quartiers populaires et les manifestations. Noël Mamère (député-maire de Gironde) l'avait alors dénoncé dans une lettre ouverte publiée dans *Libération* et il a appelé les maires de France à refuser que des drones de surveillance survolent leur commune¹. Le projet Elsa n'a pas pour autant été stoppé. La miniaturisation des drones policiers en nanodrones ne sera qu'une étape de plus pour gagner en discrétion tout en continuant d'élargir l'usage des technologies de surveillance.

Cela signifie que les moyens de contrôle de la population civile s'en trouveront renforcés et les libertés considérablement menacées. Il faut d'ailleurs avoir présent à l'esprit que la majorité des écoutes téléphoniques sont aujourd'hui "sauvages", c'est-à-dire qu'elles sont illégales et

1. Noël Mamère, "Les banlieues sous drones de surveillance", *Libération*, 26 octobre 2007.

relèvent d'initiatives privées, généralement des directions de grandes entreprises, réalisables à partir d'un téléphone mobile comme sont déjà pilotables les drones communs vendus aujourd'hui dans le commerce avec une application téléchargeable¹. L'utilisation des nanodrones suivra inmanquablement le même chemin. Il se pourrait que la chasse aux nano-insectes devienne alors un petit jeu très répandu.

LA DGSE MONTE À L'ASSAUT DES NANOS

En France, même la Direction générale de la sécurité extérieure (DGSE), sous l'autorité du ministère de la Défense, a fortement ressenti en interne les effets de la ruée économique mondiale sur les nanos et l'intérêt qu'y portent toutes les grandes armées du monde. En juillet 2006, malgré un lobbying appuyé de certains groupes d'intérêt et de grandes écoles qui voulaient placer leur homme à la tête de ce service ultrasensible (en particulier Pascal Faure, issu du corps des ingénieurs télécoms), le gouvernement a préféré désigner Bernard Barbier à la direction technique de la DGSE². Cet ingénieur a fait ses classes au cœur de la très discrète Direction des applications militaires (DAM) du Commissariat à l'énergie atomique (CEA) où il était entré à la fin des années 1970 pour devenir finalement un spécialiste des transmissions sécurisées, des supercalculateurs et des biopuces, entre autres, à la tête du Laboratoire d'électronique de technologie de l'information (LÉTI³). On lui doit une série d'accords en matière de recherches nanotechnologiques avec les États-Unis, le Canada et l'Allemagne. Autant dire que le dossier des nanos a peu

1. Pour trouver ces articles à un prix accessible, il suffit de taper sur le Web "drone et téléphone mobile".

2. Nommé officiellement en Conseil des ministres, le 12 juillet 2006.

3. Comme on l'a déjà mentionné plus haut, le LÉTI dépend du Commissariat à l'énergie atomique (CEA).

de secrets pour lui. Son rôle a d'ailleurs été décisif dans la création du Minatec, le grand pôle de micro et de nanotechnologies situé à Grenoble.

Cette nomination a été perçue dans toutes les sphères du renseignement comme le signe d'un net renforcement de la priorité que le gouvernement donne aux nanos et à la mise en place d'une stratégie de veille, pour ne pas dire d'espionnage et de contre-espionnage grâce à ces moyens techniques révolutionnaires. Les observateurs les mieux informés ne sont toutefois pas assez bavards pour en dire plus. On aimerait savoir par exemple si la France parvient à protéger les découvertes de ses chercheurs en nanotechnologies contre le système américain d'écoute – le fameux programme PRISM de la National Security Agency (NSA) – connu grâce aux révélations publiques d'Edward Snowden en juin 2013.

La loi de finances couvre déjà depuis des années certaines lignes de dépenses pour les nanotechnologies associant des universités à la Défense nationale et à des entreprises, à l'instar des partenariats américains de l'Institute for Soldier Nanotechnologies. En 2011, le projet NanoRobust pour développer l'ingénierie nano ou le projet MHANN pour faire avancer la mise au point de réseaux de neurones artificiels, sous l'égide de l'Agence nationale de la recherche (ANR), a associé des universités françaises et des complexes industriels travaillant étroitement avec l'armée, comme Thales et le CEA. La Délégation générale à l'armement s'est également associée à l'ANR sur des projets concernant les nanotechnologies (P2N).

À l'instar de ce qui s'est passé pour le nucléaire, le domaine des nanotechnologies se trouve étroitement lié au complexe militaro-industriel. En avançant souvent sous le "secret défense", ces recherches cachent leur réel impact sur nos sociétés tout en représentant un danger toxique pour tous.

LAGROALIMENTAIRE INVENTE DES SAVEURS INÉDITES

Les industriels ont fait entrer les nanos dans la composition de nombreux aliments sans nous prévenir. Par exemple dans des sucres, en particulier des sucres glace pour renforcer leur blancheur et leur légèreté, dans des bonbons ou des mousses au chocolat, pour leur donner des textures inédites et intensifier les couleurs... Les nano-additifs servent souvent à augmenter l'“impact gustatif” de leurs préparations, contrôler l'exhalaison de leurs parfums, accroître leur fluidité ou la réduire, mieux les protéger contre l'humidité ou le dessèchement, prolonger leur conservation au-delà de ce que permettent les conservateurs classiques... Bien que le nombre de nanosubstances utilisées par l'agroalimentaire et présentes dans notre assiette soit difficile à évaluer avec précision, il ne fait plus aucun doute que les produits les incorporant se comptent par centaines. Le cabinet de consultants Helmut Kaiser, qui a entrepris de les dénombrer, estime que plus de trois cents aliments contenant des nanos manufacturées font déjà partie du panier des ménages¹.

Outre les nanoparticules directement intégrées aux ingrédients, tels le nano-argent ou le nanomagnésium, celles qui sont utilisées dans les emballages alimentaires migrent en partie vers leur contenu. De sorte qu'elles contaminent aussi ce que nous mangeons. L'énumération de ces nanoparticules baladeuses qui passent ainsi du packaging à notre estomac est un poème postmoderne que les instituteurs pourraient apprendre aux élèves pour les instruire sur les éléments qui remplacent la nature : nanoparticules de dioxyde de titane, nanosilices, nanopen-toxyde d'antimoine, nano-argent, nanozinc, nanotubes de carbone...

1. Helmut Kaiser Consulting, “Strong increase in nanofood and molecular food markets in 2008 worldwide”, Nanofood Conference 2009-2010. www.hkc22.com/Nanofoodconference.html

Cette cuisine clandestine dure déjà depuis des décennies¹. Des intoxications insidieuses ou manifestes en ont-elles résulté? Les consommateurs l'ignorent. Pour avoir quelque chance d'établir un lien entre des troubles et la présence de nanos dans un aliment, encore faudrait-il qu'elles soient signalées. Faute d'étiquetage, faute d'information en général, faute de données sur les sites mêmes des producteurs et des distributeurs, elles sont restées cachées².

Quand on interroge les représentants des marques sur ce problème, ils imitent l'huître : ils font grise mine et se referment. Si on leur montre la liste des nanos qui entrent dans leurs produits, ils tentent de se justifier. Leurs arguments, bien rodés, mettent en avant le “souci de la sécurité alimentaire et de la santé du consommateur”. Le responsable marketing d'une multinationale des produits laitiers, qui veut bien parler à condition de conserver son anonymat, reconnaît la présence de nombreuses nanos dans ses aliments mais veut nous convaincre de la bienveillance de sa société : “Nous adapterons nos usages si des risques apparaissent. Pour le moment, nous voulons faire profiter les consommateurs des avancées nanotechnologiques qui nous permettent de réduire tout un tas de substances qui les inquiétaient comme les arômes chimiques, les colorants artificiels et les conservateurs. Les nanos apportent aussi des avantages en prolongeant la durée de vie de certains enzymes et des vitamines en les intégrant dans des liposomes, elles peuvent remplacer des antioxydants et neutraliser les bactéries. Et cela représente un moindre volume d'additifs, donc un moindre coût qui se retrouve dans le prix. Et, tout de même, il ne faut pas oublier le plaisir gustatif : les nanos répondent aussi à la demande des clients en termes de saveurs...” Et de citer les nanosilices qui empêchent la formation de grumeaux dans les poudres de chocolat et d'autres préparations “qui doivent rester bien sèches et sans agrégats pour éviter les sensations

1. Cf. *infra*, p. 145-151.

2. *Ibid.*

déplaisantes en bouche”. À l’écoute de toutes ces délicatesses, on se demande comment nous avons pu garder de si bons souvenirs des délicieux petits plats cuisinés à la maison sans nanos.

L’économie du secteur éclaire les motivations des producteurs et des distributeurs. Les ingrédients alimentaires nanotechnologiques représentaient un chiffre d’affaires de 2,6 milliards de dollars en 2003. Ce dernier a plus que doublé en 2005, puis il a franchi la barre des 20 milliards en 2010. Le secteur a reçu également des subventions Dans le domaine agroalimentaire comme dans les autres, l’effet d’aubaine économique a largement contribué au refoulement des problèmes de toxicité, éludés dès qu’on les évoque. Au nom de l’“absence de données fiables” ou, au gré des interlocuteurs, on s’abrite derrière les rengaines selon lesquelles “la nanotoxicologie est une science encore jeune” et “il sera toujours temps de réagir au cas par cas pour encadrer les nanos qui poseront problème”. Chacun reprend les formules devenues rituelles chez ceux qui ont un intérêt économique ou professionnel à rassurer et se rassurer à bon compte.

Des arguments hélas démentis par les toxicologues qui, après avoir évalué les nanos d’usage courant, s’insurgent et tentent de lancer des alertes. En effet, la barrière gastro-intestinale, qui empêche certaines substances nocives de pénétrer dans le système circulatoire sanguin, échoue à retenir diverses nanoparticules, comme l’AFSSET et le CPP en France ou l’IRSST au Québec l’ont signalé dès 2006...

L’Agence française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA), dans son rapport d’avril 2009 sur les nanoparticules dans l’alimentation humaine et animale¹, a préféré invoquer le fait que les études sur les nanos intégrées aux aliments étaient encore trop éparses et sans méthodologie d’évaluation bien spécifiée, mais ses conclusions n’en sont pas moins assez fermes : “Le développement de travaux de

recherche doit être soutenu et, dans l’attente de données pertinentes notamment sur l’absorption digestive, la prudence s’impose à l’égard de l’utilisation de nanotechnologies et/ou nanoparticules en alimentation humaine et animale.” Elle notait aussi qu’il fallait “exiger une déclaration systématique de ces substances ou produits dans l’alimentation” et “une demande d’autorisation de mise sur le marché”. Hélas, les discussions entourant cette double exigence ne sont toujours pas closes...

Un autre point de ce rapport mérite d’être souligné. L’AFSSA fait ressortir, avec des mots où nulle indignation ne perce mais qui ont la froideur d’un constat qui laisse sans voix, que le tabou le plus complet règne sur les utilisations des nanos dans les produits vétérinaires et les pesticides. “Après consultation de l’Agence nationale du médicament vétérinaire (ANMV) et de la Direction du végétal et de l’environnement (DiVE), il apparaît qu’aucun médicament vétérinaire ou produit phytosanitaire relevant des nanotechnologies n’a été soumis à autorisation à ce jour en Europe¹.” Bien sûr, cela ne signifie pas que les producteurs se soient abstenus d’utiliser des nanos, mais tout bonnement que, comme dans les autres secteurs, les industriels ont fait corps autour du même principe : *Motus, bouche cousue*.

L’AFSSA indique par ailleurs : “De nombreuses lacunes subsistent sur la possibilité des nanoparticules à entrer dans la chaîne alimentaire comme contaminants de l’environnement : l’acquisition de données sur le comportement des nanoparticules dans les divers compartiments de l’environnement, ainsi que le développement de méthodes de détection et de quantification en routine dans l’environnement et les matrices alimentaires constituent un préalable à toute réflexion sur une éventuelle exposition de l’homme à travers la chaîne alimentaire².” On croirait entendre que, tout compte fait, nous sommes revenus à l’an zéro de l’ère industrielle et de l’écotoxicologie.

1. Rapport AFSSA, *Nanotechnologies et nanoparticules dans l’alimentation humaine et animale*, 2009.

1. *Ibid.*, p. 6.

2. *Ibid.*

En 2011, l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et l'Organisation mondiale de la santé (OMS) réunissaient à Rome un collège de dix-sept experts venus du monde entier pour confronter leurs points de vue sur les risques liés aux nanos dans l'agriculture et l'alimentation. Ils en tiraient un rapport commun assez étonnant dans lequel ressortent manifestement les contradictions apportées par chacun¹. ... Ainsi, le document se répandait en louanges sur les promesses des nanotechnologies en matière d'alimentation, saluant à chaque page les performances techniques des industries agroalimentaires et souhaitant leur succès auprès des consommateurs, pour conclure finalement ainsi : "Promouvoir de nouvelles applications sans avoir les capacités de prouver qu'elles sont sûres conduit inévitablement à des protestations et à un désastre commercial. Il sera bénéfique aux entreprises d'intégrer cette observation empirique à leurs réflexions stratégiques²." Suit une recommandation majeure : "Étant donné les implications potentielles pour la santé publique, l'utilisation de nanomatériaux manufacturés biopersistants dans le secteur de l'agriculture, qui risquent de persister dans l'environnement ou de s'accumuler dans l'organisme, devrait être envisagée en termes d'exposition ultérieure durant la production et l'utilisation, et dans le contexte d'une contamination possible des produits agroalimentaires, des sols, de l'eau, etc.³." Puis il avouait son incapacité à se prononcer pour le moment sur les risques : "Il est recommandé que la FAO et l'OMS élaborent un outil de prise de décision

1. Obligés de déclarer leurs liens d'intérêt, douze experts sur les dix-sept présents ont déclaré avoir de tels liens, dont plusieurs avec le secteur privé, mais le rapport note que "les participants en ont pris connaissance et ont estimé qu'il n'y avait pas de conflit potentiel au sein de la réunion". FAO et OMS, *L'Application des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture : incidence possible sur la sécurité alimentaire*, 2011, p. xii.

2. *Ibid.*, p. 73.

3. *Ibid.*, p. 76.

qui contribue à déterminer la méthode appropriée d'évaluation des risques que présentent les différentes catégories de nanomatériaux¹."

MAGIC NANO A DISPARU COMME PAR MAGIE

Quant aux centres antipoison, chargés de recueillir et de croiser les données qu'on leur signale concernant aussi bien les intoxications aiguës que subaiguës, insidieuses ou chroniques, l'idée même qu'ils puissent être saisis sur les nanos dans des aliments les laisse très hésitants. "Nous savons qu'il y a de plus en plus de nanos dans divers produits mais nous n'assurons pas de suivi spécifique sur ce type de composants, et nous n'avons pas connaissance de saisine à ce sujet...", répond-on, par exemple, au centre de pharmacovigilance et antipoison de Lyon². Mes questions provoquent finalement une discussion entre les médecins présents dans le centre, et l'un d'eux signale qu'un produit a été mis en cause dans un empoisonnement : "Magic Nano"...

Ce produit d'entretien en spray pour les dallages a été mis en vente en supermarché et dans les surfaces discount à la fin du mois de mars 2006. Quelles sont les nanoparticules incriminées? "Un doute existe sur le fait même qu'il y ait réellement des nanos dans ce produit, car le problème tient aussi à la difficulté d'obtenir des informations fiables...", répond un responsable du centre, sans pouvoir apporter de précisions. De fait, les spécialistes qui se sont penchés sur la composition du produit ne peuvent pas nous en apprendre plus car, selon eux, le producteur est incapable de préciser. Le dossier s'est révélé tout de même assez sérieux pour que le fabricant Kleinmann, filiale de la firme américaine Tool Works, ait discrètement retiré le Magic Nano du marché en 2006.

1. *Ibid.*

2. Entretien du 28 octobre 2013.

Principalement commercialisé en Allemagne, il est à peine arrivé dans les rayons que les services sanitaires ont enregistré 97 cas de personnes saisies d'insuffisance respiratoire aussitôt après l'avoir utilisé, dont 6 ont dû être hospitalisées car l'intoxication a provoqué chez elles une accumulation brutale de plasma sanguin dans les poumons (œdème pulmonaire). Le fait que ces cas aient été nombreux et soient survenus en quatre jours a permis aux services sanitaires de les relier facilement au Magic Nano et les a poussés à réagir sans attendre des mois ou des années. Le cinquième jour, l'Institut fédéral allemand d'évaluation des risques (BFR) a averti le fabricant pour qu'il en tire les conclusions sur le plan commercial.

Tout en rappelant leur produit, les entreprises Kleinmann et Tool Works ont déclaré aux autorités qu'ils ne disposaient pas de données précises pour savoir de quelle nature étaient exactement les nanos qui entraient dans la composition de leur produit. Une véritable saga s'en est suivie. La difficulté pour les mettre en évidence par les procédés traditionnels n'a pas permis non plus à l'Institut fédéral de les identifier, ni *a fortiori* de mesurer leur concentration. André Zimmer, responsable du dossier à l'Institut fédéral, a aussi déploré à cette occasion que les analyses n'aient même pas pu mettre en évidence tous les ingrédients classiques.

La Verband der Chemischen Industrie (VCI), la grande structure de lobbying de l'industrie chimique allemande, s'est engouffrée dans la faille pour commander une analyse à une entreprise de son réseau pour finalement affirmer que le Magic Nano ne contenait pas de nanos. Une déclaration en contradiction avec une information d'André Zimmer révélant de son côté que la société ayant produit la substance nano en cause dans le Magic Nano était Easyglas, liée à l'entreprise Nanopool qui a reconnu que du dioxyde de silicium aurait été utilisé en faible quantité dans le produit pour laisser sur les carrelages une couche nanométrique imperméable et résistant à la corrosion.

L'affaire du Magic Nano a eu un fort retentissement dans les milieux attentifs aux nanotechnologies. Aux États-Unis, la NanoBusiness Alliance a adopté le profil bas tout en répétant que cette affaire ne justifiait pas de relancer l'idée d'un moratoire, tandis que des associations y voyaient justement le symptôme de l'opacité des industriels sur leurs produits et leur volonté de disculper les nanos. De fait, le principe d'un moratoire pour donner aux recherches toxicologiques et épidémiologiques le temps de se prononcer revenait dans les discussions.

En attendant, aucune autorité sanitaire n'était capable d'apporter des précisions sur la composition du Magic Nano, pas plus aux États-Unis qu'à l'international. Même Kristen Kulinowski, directrice du Conseil international sur les nanotechnologies à l'université Rice, se disant "choquée" par cette indécision, a déclaré qu'il devrait y avoir des tests précédant leur mise sur le marché pour ne plus avoir de doute sur leurs risques et que les ingrédients des produits soient étiquetés.

Le Dr Andrew Maynard, expert international des nanoparticules, régulièrement consulté sur leurs dangers par l'OCDE et le Congrès, a été interrogé lors de cette affaire par les médias américains. L'homme n'est jamais très virulent et répète que "les nanotechnologies peuvent apporter des bienfaits si elles sont bien maîtrisées". Pour autant, il écartait les doutes systématiquement évoqués par les industriels sur la toxicité des nanos et déclarait : "La science a déjà apporté les preuves qu'ils [les matériaux contenant des nanos] présentent assez de risque pour la santé pour nous obliger à être prudents." Il estimait que même si la lumière n'était jamais faite sur la composition du Magic Nano, le dossier constituait "un avertissement pour tout le monde". Il insistait en particulier sur la "nécessité que les entreprises assurent la transparence sur leurs produits". L'homme est bien placé pour savoir qu'on est loin du compte, car il est aussi conseiller en chef de l'inventaire américain développant une base de données en ligne des produits contenant des nanoparticules manufacturées

(Emerging Nanotechnologies). Lors de la première mise à disposition au public de ses données, en 2006, Emerging Nanotechnologies pointait 200 nanomatériaux, tout en reconnaissant qu'elles étaient très incomplètes. L'inventaire signale aujourd'hui plus de 1 600 nanomatériaux, en rappelant toujours qu'il n'est pas exhaustif.

On peut certes se féliciter que le Magic Nano ait disparu des rayons, mais combien d'autres produits contenant des nanos ont-ils déjà été retirés de la vente sans que les médias soient avertis ? Nul ne semble en mesure de le dire. Il est probable que lorsque les pathologies restent relativement peu nombreuses, les réactions soient plus feutrées, comme on le voit dans divers dossiers impliquant des toxiques disponibles dans le commerce.

Il sera beaucoup plus compliqué d'identifier les produits en cause pour les réactions pathologiques lentes et insidieuses, même si au fil du temps les victimes s'accumulent.

LA DANSE DU VENTRE DES LABORATOIRES PHARMACEUTIQUES

L'industrie pharmaceutique profite elle aussi de la manne publique. Depuis vingt ans, elle vend aux autorités et à ses propres actionnaires des promesses de retours sur investissements mirifiques en misant sur les "médicaments du futur", notamment sur les nanovecteurs : les "nanocapsules" ou les "nanocoptères" portant les remèdes à bon port tels des vaisseaux intergalactiques envoyés dans notre corps, et l'idée plus lointaine des "nanorobots" qui assureront eux-mêmes l'entretien de nos organes, les réparations internes, le nettoyage de nos cellules, la régulation de nos gènes... Du pain béni pour les publicitaires des laboratoires toujours en quête d'arguments nouveaux pour renouveler l'image déclinante de cette industrie qui passe de plus en plus pour un vulgaire marchand de pilules sans scrupules, et redorer enfin leur blason après les scandales qui ont éclaté au cours des dernières décennies concernant les

effets secondaires de produits trop vite autorisés ou dont les indications ont été abusivement élargies¹.

On ne peut nier que les firmes pharmaceutiques aient mis des chercheurs au travail sur des projets de médicaments nanovectorisés, notamment pour pénétrer le foie et la rate à des fins de diagnostic et de traitement. On peut citer le cas de BioAlliance qui teste des nanoparticules polymériques qui pourraient permettre de traiter des tumeurs (hépatocarcinomes et métastases du foie), de même que l'emploi de nanoparticules magnétiques d'oxyde de fer² pour les diagnostiquer avec l'IRM (imagerie par résonance magnétique).

Promptes à embaucher les nanos, ces industries évitent toutefois d'évoquer le problème de leur devenir dans l'organisme et des dégâts qu'elles peuvent y occasionner. L'Académie des sciences, suivie par l'Académie des technologies et l'Académie de médecine publient de leur côté des déclarations qui les imitent à la perfection. Il est vrai que ces vénérables organisations comptent de nombreux membres tirant des bénéfices substantiels de leurs collaborations régulières avec ce secteur industriel : médecins, chimistes, ingénieurs...

Certains vont même plus loin et accomplissent des prouesses dialectiques en présentant les dangers des nanoparticules comme des opportunités pour la médecine. Ainsi, le fait que de nombreuses nanos soient capables de franchir les barrières biologiques qui protègent nos organes devient, dans cette vision, un espoir de traitement de maladies actuellement incurables.

Le plus inattendu est le retournement de la vulnérabilité de la barrière hémato-encéphalique face aux nanos. Rappelons que la fonction de cette barrière est de maintenir hors de notre cerveau les agents infectieux et les molécules indésirables. Alors que les études nanotoxicologiques

1. Ces dernières années, l'affaire du Mediator a été précédée par celles du Vioxx, des cévistatines et de beaucoup d'autres.

2. Endorem.

multiplient les alertes sur la capacité des nanos à franchir cette frontière, de nombreux chercheurs en parlent comme d'un merveilleux pouvoir exploitable par des laboratoires. Dans son numéro d'octobre 2013, le mensuel *Pour la science*, revue de vulgarisation publiant des textes de chercheurs désireux de promouvoir leurs travaux, a publié un article procédant de cette démarche. Celle-ci n'est pas infondée en soi mais il est frappant d'observer que la revue, pas plus que les auteurs, n'observe le moindre recul critique et elle omet de rappeler que le premier problème est précisément que des nanoparticules peuvent pénétrer dans les cellules cérébrales et que les répercussions ne peuvent être prises à la légère. Elles doivent même être considérées avec gravité au regard de la documentation scientifique solidement constituée sur l'impact très toxique des particules de dimension nanométrique sur les neurones. En particulier sur leur rôle de cofacteur dans l'apparition de maladies neurodégénératives de type Alzheimer¹.

"L'un des principaux obstacles au traitement des maladies cérébrales est la barrière très sélective qui sépare le sang et le cerveau. La nanomédecine ouvre aujourd'hui des pistes prometteuses pour franchir cette dernière", déclare le chapeau de son article intitulé "Des médicaments pour le cerveau". Les lecteurs sont invités à s'en réjouir car, explique-t-il, la mise au point de thérapies curatives se heurte à cette difficulté. Les deux auteurs, Karine Andrieux et Patrick Couvreur, évoquent l'imperméabilité de cette enveloppe cérébrale comme s'il s'agissait d'un archaïsme organique plus ou moins grossier et conjuguent déjà au présent son dépassement par les découvertes des nanotechnologies, comme s'il s'agissait d'une conquête scientifique, en omettant de signaler qu'il s'agit d'abord d'un travers particulièrement redoutable des nanos. Mais ils sont

1. À ce sujet, voir Marie Grosman et Roger Lenglet, *Menace sur nos neurones...*, *op. cit.*

2. Karine Andrieux et Patrick Couvreur, "Des nanomédicaments pour le cerveau", *Pour la science*, n° 432, octobre 2013.

contraints de revenir au futur et au conditionnel quand ils évoquent les médicaments promis par les laboratoires : "Élaborer des nanoparticules qui transporteraient par voie sanguine des molécules thérapeutiques jusqu'au cerveau est l'un des enjeux de la nanomédecine." Mais, faute de pouvoir aborder des acquis consistants, les auteurs commencent par mettre en exergue les chiffres des patients en souffrance : "À ce jour, les personnes atteintes par la maladie d'Alzheimer n'ont à leur disposition que des traitements symptomatiques. Or, selon les estimations publiées en 2013 par la coopération européenne ALCOVE sur la maladie d'Alzheimer, près de 7 millions de personnes sont concernées en Europe – un constat qui devrait s'aggraver avec le vieillissement de la population. Plus que jamais la recherche de traitements efficaces et de diagnostics plus précoces apparaît impérative. [...] La maladie d'Alzheimer et les symptômes apparentés sont les principales causes de démence (60 à 70 % des cas). Selon le dernier rapport de l'Organisation mondiale de la santé, on estime à 35,6 millions les personnes atteintes de démence dans le monde en 2010, avec 7,7 millions de nouveaux cas chaque année. En Europe, on compterait près de 10 millions de cas de démence. [...] Avec le vieillissement de la population, sa prévalence devrait doubler dès 2040 en Europe de l'Ouest et tripler en Europe de l'Est."

Abrégeons ce panorama qui s'étend sur plusieurs pages avant d'évoquer les travaux de chercheurs qui espèrent mettre au point des nanovecteurs abusant certains récepteurs pour s'installer derrière la barrière hémato-encéphalique ou concevoir des nanovecteurs "furtifs" capables de la franchir (par exemple à l'instar des cellules de l'immunité [lymphocytes] autorisées à entrer quand un foyer infectieux se déclare dans le cerveau). L'ambition est de les utiliser pour établir des diagnostics plus précoces et pour stopper l'aggrégation du peptide bêta-amyloïde autour des neurones (qui représente un stade avancé dans la maladie d'Alzheimer).

Le public ne peut qu'être d'accord avec les chercheurs sur l'urgence de sauver les millions de malades frappés par

la maladie d'Alzheimer et il aimerait croire en l'espoir que représentent les traitements nanothérapeutiques. La vérité est que ces nanomédicaments cérébraux sont non seulement hypothétiques mais aussi probablement très dangereux, en particulier pour le cerveau... Comment cette revue qui se prétend objective peut-elle se contenter d'une présentation aussi partielle d'une propriété de pénétration des nanos qui, avant tout, est le sujet d'inquiétude des toxicologues et des épidémiologistes?

La compétence scientifique des auteurs et leur honnêteté – ils concèdent finalement qu'ils sont "encore loin de disposer d'une formulation à base de vecteurs colloïdaux¹ pour traiter la maladie d'Alzheimer" – ne change rien à l'affaire. Passer sous silence un danger de santé publique scientifiquement démontré, représenté par des molécules désormais largement répandues sur le marché est une chose. Mais présenter cette propriété dangereuse comme une formidable promesse, sans d'ailleurs jamais parler des enjeux sanitaires de ce risque inédit, procède d'une tournure d'esprit qui ne peut s'expliquer seulement par un grand optimisme. Et quelle prétention de parler déjà d'un dépassement des traitements symptomatiques alors que les auteurs, chercheurs eux-mêmes engagés dans des expérimentations nanotechnologiques sur le peptide bêta-amyloïde, ne consacrent pas une seule ligne aux causes toxicologiques polyfactorielles de la maladie d'Alzheimer parmi lesquelles les particules de taille nanométrique sont impliquées²!

Résumons-nous : alors que les toxicologues en sont à crier dans le désert pour attirer l'attention sur le pouvoir des nanos de franchir les barrières protégeant les organes, des informations circulent sur des firmes pharmaceutiques faisant travailler des chercheurs sur l'exploitation de ce

1. Les vecteurs colloïdaux sont des nanoparticules.

2. Citons, parmi les cofacteurs bien identifiés, les composants de la fumée du tabac, l'hydroxyde d'aluminium apporté par l'eau traitée dans de nombreuses stations d'épuration, le mercure... Cf. Marie Grosman et Roger Lenglet, *Menace sur nos neurones...*, *op. cit.*

pouvoir pénétrant en se frottant les mains devant les perspectives de retour sur investissement. Plus éloquent encore : ces derniers reçoivent plus de fonds publics et privés pour mener leurs travaux que les équipes de toxicologues.

LA NOUVELLE RÉVOLUTION INDUSTRIELLE

On pouvait espérer que l'impact des pollutions de la révolution industrielle sur notre environnement quotidien depuis le XIX^e siècle allait bientôt se réduire sous la pression citoyenne et l'action des associations auprès des politiques. Les lois de protection de l'environnement et de la santé publique arrachées une à une malgré la lenteur des institutions et la lourdeur des complaisances vis-à-vis des grands lobbies pollueurs semblaient ouvrir un siècle d'apaisement. Qui aurait pu dire que ces derniers allaient soudain se déchaîner en mettant en circulation sans autorisation d'énormes quantités de molécules dont la toxicité, du fait de leur taille et de leurs effets spécifiques, était prévisible et en partie déjà connue? Ce cynisme était tout simplement impensable.

On ne compte plus les industries qui, dans le textile, les métaux, le verre, les plastiques ou le traitement des cuirs incluent des nanos pour rendre leurs produits plus rigides ou plus élastiques, plus étanches, plus filtrants, plus transparents ou plus colorés, plus solides ou plus fluides, plus lisses, moins salissants... Les skis glissent plus vite, les pneus et les semelles adhèrent mieux, les raquettes de tennis et les clubs de golf sont plus légers et réactifs, les cirages plus protecteurs, les armements plus résistants à la chaleur et les véhicules militaires moins pénétrables aux missiles rendus eux-mêmes plus pénétrants, la surface des appareils électroménagers résiste mieux aux chocs et aux rayures... Le verre des fenêtres, des pare-brise de voitures et des lunettes devient "intelligent" : il s'autonettoie en détruisant la saleté qui s'y dépose, s'autorépare en cas de choc, varie ses teintes plus efficacement, neutralise mieux les reflets, gère

les variations de température, inclut des capteurs tactiles et des puces délivrant des informations, acquiert la souplesse de films plastiques et une solidité inédite... Bientôt, nos miroirs de salle de bains nous adresseront des messages circonstanciés d'ordre esthétique et médical...

Les nanos entrent dans les textiles sous la forme de "fibres respirantes antitranspiration" qui conservent plus longtemps leurs couleurs, résistent de plus en plus à l'usure, aux lavages, aux déchirures et aux coups, empêchent les bactéries de se développer...

On retrouve désormais des nanoparticules manufacturées dans des matériaux de construction, par exemple pour résister aux effets des intempéries, empêcher le développement des mousses, assurer une plus grande maîtrise des variations de température. Des ciments et des bétons autonettoyants sont aussi commercialisés.

Les nanos pénètrent en outre dans les appareils ménagers. Dans des fours, pour mieux diffuser la chaleur ou la focaliser, et pour anéantir les graisses qui se déposent sur les parois, dans des sèche-cheveux, des aspirateurs... Aujourd'hui les parois intérieures des réfrigérateurs intègrent aussi souvent du nano-argent pour empêcher les microbes d'y circuler et de s'y développer, comme d'ailleurs leur revêtement comporte des nanos pour éviter les rayures. Tous ces appareils ne cessent de gagner en légèreté. Et, bien sûr, ils intègrent une microélectronique qui assure des services toujours plus sophistiqués tout en occupant de moins en moins de place.

Les sources de lumière vivent aussi une révolution nanotechnologique. Les diodes électroluminescentes organiques (OLED) (*organic light-emitting diode*), exploitant un phénomène quantique¹ pour créer de la lumière, font également leur entrée dans les appareils photos numériques, les baladeurs MP3, les consoles de jeux portables, les ordinateurs, les téléphones mobiles, les porte-photos, l'éclairage d'ambiance... Ces composants, dont la firme Kodak a déposé le

1. Le couplage de spin.

brevet dès 1987, émettent leur lumière à l'intérieur de matériaux avec une étonnante capacité de diffusion. La diode est constituée d'une superposition de plusieurs couches semi-conductrices entre deux électrodes. La technologie OLED a d'innombrables applications, dont la plus connue est l'affichage sur des écrans plats et des panneaux d'éclairage de plus en plus minces et flexibles. Ne nécessitant pas l'introduction de rétroéclairages, l'électroluminescence des OLED est un rival redoutable pour les afficheurs à cristaux liquides (LCD) fatalement plus épais, moins performants en rendu de couleurs et moins faciles à produire. Pour le moment, la plus grande durée des LCD (50 000 heures contre 14 000 heures) leur permet de résister encore sur le marché, surtout celui des téléviseurs, mais il ne fait pas le moindre doute que les OLED, compte tenu des investissements des firmes (Sony, Philips, LG...), vont continuer à saturer notre environnement quotidien de nanos.

Le traitement de l'eau intègre lui aussi de plus en plus souvent des nanos. Des stations d'épuration utilisent des filtres en céramique nanoporeuse pour retenir les bactéries et les virus. Des filtres en nanotubes de carbone sont à l'étude, de même que l'utilisation de nanoparticules de fer pour détruire des contaminants organiques (y compris des contaminants organiques récalcitrants comme les hydrocarbures) et absorber des polluants inorganiques, tel l'arsenic. Mais comme le rappelait le Comité de la prévention et de la précaution (CPP) dans son rapport de 2006, rien ne garantit "qu'elles ne sont pas, elles-mêmes, sources d'effets non maîtrisés qu'il faudra traiter par la suite". Le CPP soulignait qu'il en allait de même concernant les médicaments comportant des nanos.

La nouvelle révolution industrielle à laquelle nous assistons est sortie des flancs de celle qui a bouleversé le XIX^e et

1. Comité de la prévention et de la précaution, *Nanotechnologies et nanomatériaux : état des lieux et axes de développement*, ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, rapport du 28 septembre 2009, mis à jour le 4 août 2011.

le xx^e siècle. Les ravages causés par la première et que nous subissons encore aujourd'hui risquent d'être décuplés par la seconde. Elle pourrait bien engendrer de plus vastes périls, d'autant que nous n'avons pas fondamentalement changé les rapports de forces économiques et sociaux qui régissent les grands choix politiques et technoscientifiques. Il nous revient, pour aujourd'hui et l'avenir, de nous mobiliser pour rompre avec cette répétition.

II

DU RÊVE AU CAUCHEMAR

La capacité des hommes à rêver est connue pour améliorer leur existence, quand elle ne nuit pas trop à leur discernement. En ajoutant du merveilleux au réel, on peut obtenir le meilleur. Mais les songes peuvent virer au cauchemar quand ils nous font oublier toute précaution. Surtout quand les industriels et une partie de l'élite y voient une source de profits rapides. Et la méprise devient encore plus catastrophique quand elle engage la cité tout entière. On méconnaît la propension des sociétés elles-mêmes à se laisser séduire par des rêves collectifs et à s'emballer, pour jeter parfois toute sa population dans des gouffres ou des fuites en avant périlleuses.

Notre époque doit encore apprendre à se méfier de ses walkyries économiques et technocratiques, de ses appétits aiguisés et instrumentalisés par des puissances financières promptes à capter les investissements et capables d'entretenir la cécité générale avec une redoutable efficacité.

Les nanotechnologies sont apparues comme un eldorado pour toutes les industries, leurs gros actionnaires et les différents acteurs de l'ingénierie. Bien plus, elles ont émergé comme l'annonce d'un monde nouveau au sens physique.

Au passage, comme dans tous les rêves, on oublait que le réel n'allait pas se plier aussi facilement au discours idyllique des promoteurs. Et que la nature, monde issu de milliards d'années de transformations, était même capable de rappeler qu'on ne joue pas impunément avec elle. Finalement,

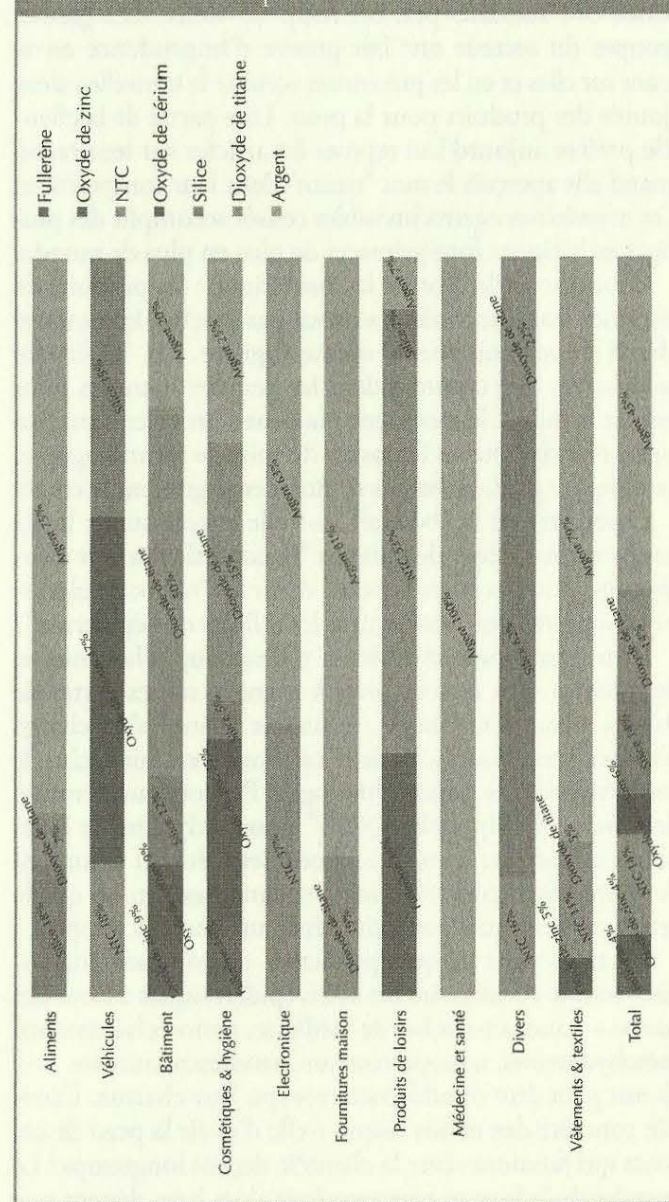
la toxicité des nanos pour l'homme et l'environnement se révèle beaucoup plus retorse que les décideurs n'ont voulu le reconnaître et le faire croire. Tous les indices indiquaient pourtant qu'il fallait "regarder la rue avant de la traverser", comme on dit aux enfants. Rapports, études, tests, tout montrait que les gouvernements devaient passer des accords internationaux pour calmer le jeu sur les nanotechnologies. Ils ont fait le choix inverse : en exacerbant la compétition à outrance et en refoulant les résultats des recherches toxicologiques, ils ont failli dans leur mission de protéger les populations. Tentons de maintenir nos yeux ouverts...

CES COSMÉTIQUES QUI AGISSENT TELLEMENT EN PROFONDEUR

L'industrie des cosmétiques se porte mieux que jamais. L'affichage tonitruant des nanos sur les crèmes de beauté et autres produits miracles s'est révélé très juteux et il a fait grimper les cours. Les publi-reportages – faux articles de journalistes rédigés en fait par les publicitaires – ont vanté durant des années l'efficacité de ces nanos et le fait que leur taille minuscule leur permettait d'agir au cœur des cellules, au plus près des secrets de la régénérescence. En 2008, plus du quart des produits contenant des nanos recensés sur le marché français étaient des cosmétiques et des produits corporels¹. On y trouve, outre les nanoparticules d'or, le noir de carbone et les nano-émulsions visant à réduire la sensation huileuse des crèmes, de bonnes quantités de nanoparticules de dioxyde de titane, d'oxyde de zinc, de nanosilices et de fullerènes. Un éventail assez proche de celui qu'on retrouve dans le secteur du bâtiment et de... l'alimentation (voir illustration n° 14).

1. AFSSET, 2010, *op. cit.*, p. 45-46.

Illustration n° 14. Sept nanomatériaux dans dix secteurs.



Source : Rapport AFSSET, 2010.

Mais l'affaire tourne au vinaigre. Les cosmétiques aux nanos ont soudain pris un coup de vieux. Les grands groupes du secteur ont fait preuve d'imprudence en se ruant sur elles et en les présentant comme la nouvelle valeur ajoutée des produits pour la peau. Une partie de la clientèle préfère aujourd'hui reposer les articles sur leur rayon quand elle aperçoit le mot "nanos" dans leur composition. Ces mystérieux agents invisibles censés accomplir des prodiges esthétiques font grimacer de plus en plus de monde.

C'est une règle d'or de la cosmétique : les produits de jouvence doivent apaiser, surtout pas susciter la moindre idée d'empoisonnement, même fugitive. Or, les études qualitatives que commandent les grandes marques pour sonder le public le montrent : la peur s'immisce dans son esprit et le dispute au fantasme du miracle technologique. Le temps se gâte, les firmes se tâtent et se grattent le crâne.

L'industrie de la "beauté" va-t-elle encore surfer longtemps sur les crèmes de nuit aux "nanoparticules d'or énergisantes" pour "reposer la peau" et sur les "nanocapsules de tri-céramides" qui "ressourcent les cellules de l'épiderme" ?

Rien n'est moins sûr. Même si beaucoup d'hommes et de femmes sont encore prêts à prendre toutes sortes de risques pour "être beaux", le préfixe "nano" s'est chargé d'une connotation incertaine. La presse s'est fait l'écho de l'ambivalence des nanotechnologies. Proposer aux femmes des "nanos-H lipobelle QE10" pour redynamiser leurs acides aminés ou leurs mitochondries a été un argument de vente, mais leurs lobbyistes reconnaissent en off que le vent tourne et qu'il pourrait même annoncer la tempête.

Certains vont jusqu'à pressentir qu'en ayant "néologisé" tout le vocabulaire des soins épidermiques autour des nanos – nano-antitaches de vieillesse, nano-éclaircissants, nanohydratants, nanoprotecteurs, nanorestructurants... –, ils ont peut-être durablement rompu leur charme. L'arrivée concrète des nanos risque-t-elle d'avoir la peau de ces mots qui faisaient rêver la clientèle depuis longtemps ? Le marché de la beauté réapprendrait alors à ses dépens que les lois de l'imaginaire se concilient mal avec celles de la

chimie et de la technologie, voire qu'elles vont dans deux directions foncièrement opposées¹.

"Les armoires de toilette qui se sont remplies de cet arsenal vont tôt ou tard apparaître pour ce qu'elles sont : des armoires à poisons", me souffle le toxicologue d'une firme, en se plaignant – en off – que ses avis ne soient "pas pris en compte". "Personnellement, confie-t-il, je me suis toujours méfié de l'utilisation des nanos dans des produits destinés à entrer en contact avec l'organisme. Ça disparaîtra aux premiers procès qu'on ne pourra pas éviter à l'amiable. Je savais depuis le début qu'on jouait avec le feu. En tout cas, je peux vous dire qu'ils ne sont pas près d'entrer dans ma salle de bains."

Il est vrai que les études toxicologiques sur les cosmétiques contenant des nanos ne datent pas d'hier et qu'avec le temps les conclusions s'alourdissent. Voyons de près leurs résultats...

Les produits de maquillage et d'entretien de la peau contiennent souvent du nano-argent. Les producteurs justifient son utilisation en expliquant qu'il a un pouvoir bactéricide. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle cette nanoparticule bat aujourd'hui tous les records de production. On la trouve à présent jusque dans des aliments, des pansements, des déodorants et des sous-vêtements, comme si l'humanité ne pouvait plus supporter l'idée même de microbes. Les conséquences de cette volonté d'éradication sur fond de hantise sont pour le moins paradoxales : les nanoparticules d'argent envahissent littéralement nos lieux de vie en étant encore plus indétectables que les microbes, et se révèlent être des contributrices de la multiplication de bactéries multirésistantes aux antibiotiques et aux produits biocides³ !

Après l'AFSSET et bien des études, le Haut Conseil de la santé publique rappelait qu'il fallait sérieusement s'en

1. Pour reprendre la formule de Gaston Bachelard à propos de la démarche esthétique et de la démarche scientifique.

2. Entretien, septembre 2013.

3. Pesticides et désinfectants.

méfier, dans un avis du 12 mars 2010 intitulé : “Recommandation de vigilance relative à la sécurité des nanoparticules d’argent”. Il pointait sa “capacité d’accumulation intracellulaire, un stress oxydant, une génotoxicité et une cytotoxicité par apoptose (mort cellulaire programmée)”.

Nous avons déjà évoqué le risque de passage à travers la peau des nanoparticules de dioxyde de titane (intégrées notamment dans des laits solaires) utilisées pour rendre les produits plus transparents et “réfléchir, disperser et absorber les rayons ultraviolets (UV)” comme le dit un dépliant de la Fédération des entreprises de la beauté (FEBEA), le plus gros lobby du secteur, qui regroupe des centaines de sociétés. Le nanodioxyde de titane est utilisé dans les produits de protection solaire depuis 1990¹.

L’AFSSET rappelle, comme nous l’avons vu dans un chapitre précédent, que le nanodioxyde de titane (TiO₂) n’est pas anodin et que des études sur les crèmes solaires montrent “l’existence d’un passage cutané et la possibilité pour ces nanoparticules de se retrouver dans la couche profonde de l’épiderme”. L’agence s’inquiétait notamment à propos des “peaux lésées” (par exemple par des coups de soleil), et sur “l’incertitude liée à la flexion mécanique de la peau qui serait susceptible de favoriser la pénétration des nanoparticules”. Rappelons que le TiO₂ est utilisé dans d’innombrables domaines et que le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) l’a classé comme cancérogène possible chez l’homme.

Certaines marques de cosmétiques utilisent toujours des nanos mais jugent préférable de ne plus en faire la publicité, à l’instar de certains industriels de l’agroalimentaire et d’autres secteurs, comme l’ont remarqué l’Agence de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA) et l’AFSSET². Celle-ci notait en 2010 : “Il est intéressant de noter que les interrogations grandissantes au niveau international sur les

1. Comme le reconnaît la FEBEA dans les *Cahiers d’acteurs sur le développement et la régulation des nanotechnologies*, 2009.

2. AFSSA, 2009 ; AFSSET, 2010, p. 44.

risques liés aux nanotechnologies se sont traduites par la disparition de la référence à ces nanotechnologies sur certains supports de communication (sites de producteurs, fiches techniques, etc.¹). ”

De son côté, Novethic, une filiale de la Caisse des dépôts qui analyse les stratégies de communication des entreprises, a relevé que 54 % des entreprises du CAC 40 préfèrent s’abstenir de diffuser la moindre information à ce propos². Elle les suspectait de préférer “éviter un sujet sensible” pour ne pas “s’exposer en termes de risque de réputation” compte tenu “des risques toxicologiques et écotoxicologiques potentiels”. Leur réputation est en effet la condition première de leur rentabilité. Et il serait catastrophique pour leur image et *in fine* pour la confiance de leurs actionnaires que des victimes de pathologies liées aux nanos se souviennent des nanos qui figuraient sur la publicité de leur crème de jour ou de leur rouge à lèvres.

En marge des marques qui vendent des cosmétiques en hésitant à maintenir la référence aux nanos, de nouvelles crèmes sont même apparues avec la mention “Sans nanos”. On les trouve surtout dans les boutiques de produits naturels, mais il est probable que la demande de la clientèle finira par pousser tous les distributeurs à les faire entrer sur leurs rayons, comme ils l’ont fait avec les cosmétiques sans parabènes.

Il a fallu attendre le 11 juillet 2013 pour que l’UE fixe un règlement qui oblige officiellement les marques à informer les consommateurs en mentionnant la présence de nanos dans la liste des ingrédients des cosmétiques. Le mot “nano” devra ainsi figurer entre parenthèses après le nom de la substance, par exemple “Dioxyde de titane (nano)” ou “Oxyde de zinc (nano)”. L’article 16 du règlement prévoit que les cosmétiques contenant des nanomatériaux soient

1. AFSSA, *op. cit.*, p. 10.

2. Novethic, *Nanotechnologies. Risques, opportunités ou tabou : quelle communication pour les entreprises européennes ?*, étude RSE, septembre 2010.

notifiés à la Commission par les industriels six mois avant leur mise sur le marché. En cas de doute de la Commission à propos de l'innocuité des nanoparticules, elle aura la responsabilité de demander aussitôt un avis au Comité scientifique pour la sécurité des consommateurs (CSSC). Mais, comme le remarquait l'Association de veille et d'information civique sur les enjeux des nanosciences et des nanotechnologies (AVICENN¹) en 2013, après l'entrée en vigueur de la réglementation : "Le CSSC n'avait cependant jamais encore rendu ses avis sur les principaux nano-ingrédients utilisés en cosmétique : le dioxyde de titane, le *carbon black*, et certaines formes de silice. Quant à l'avis rendu sur l'oxyde de zinc², il était incomplet, des précisions sont attendues." AVICENN annonçait que "plusieurs mois seront sans doute encore nécessaires avant que le règlement soit donc rigoureusement applicable. Car une fois les avis de la CSSC publiés, il faudra encore un accord entre les États membres, puis une traduction dans les vingt-quatre langues de l'Union européenne et une notification aux différents Parlements, afin que leurs dispositions soient inscrites aux annexes du Règlement³."

En attendant, les entreprises profitaient du flou et une partie d'entre elles continuait à vendre leurs cosmétiques aux nanos sans rien signaler sur les étiquetages.

L'ironie veut que de plus en plus de produits affichent de nos jours une liste grandissante de substances exclues. Alors qu'on ne compte plus ceux qui portent la mention "Sans colorants", "Sans conservateurs", "Sans alcool" et "Sans parabènes", va-t-on bientôt trouver jusque dans les supermarchés les produits qui mettent en valeur le fait qu'ils ne contiennent pas de nanos? Après avoir permis aux producteurs de capter la manne des subventions aux nanos et de booster le marché en augmentant le prix des

1. Association créée le 10 décembre 2010.

2. CSSC, "Opinion on zinc oxide (nano form)", septembre 2012.

3. M. D., "Quelle réglementation des nanomatériaux dans les cosmétiques en Europe?", veillenanos.fr, 12 juillet 2013.

articles qui en contiennent, ils ne se gêneront pas pour passer à la caisse une troisième fois... en augmentant le prix des gammes "sans nanos".

Les fabricants ont toujours surenchéri sur la prétention de vendre des produits "agissant en profondeur", voire "jusqu'à l'intérieur" pour mieux structurer les apparences et non plus seulement camoufler les rides et les boutons. Finalement, c'est en réussissant à pénétrer réellement l'épiderme que les produits renversent la métaphore esthétique de la profondeur en frayeur. On veut bien se laisser séduire par des mots mettant en valeur notre beauté, mais pas se laisser pénétrer réellement, en tout cas pas aussi rapidement par des choses dont on ignore tout. La conquête de l'infiniment petit et du toujours plus pénétrant vient de trouver sa limite avec l'idée que, au-delà d'un certain seuil, les composants de l'onguent ne sont plus contrôlables et font du tourisme dans l'organisme. Ce fut d'ailleurs le problème des parabènes dont on avait précisément vendu la "vertu" de pénétration.

LA RÉSISTIBLE ASCENSION DU NANO-ARGENT

Comme on l'a vu, l'AFSSET lançait, en mars 2010, à nouveau l'alerte avec un rapport sur les risques liés aux nanomatériaux pour la population et pour l'environnement¹. À la surprise générale, l'agence y demande une interdiction pure et simple de certaines applications des nanos, comme les chaussettes au nano-argent. C'est en évoquant cet exemple que Martin Guespereau, le directeur général de l'agence, lançait lors de la conférence de presse où il présentait le nouveau rapport : "Le principe de précaution s'impose."

Loin du discours consensuel des agences qui se limitent trop souvent à une langue de bois pour ne pas susciter d'émotion et surtout pour éviter de déplaire aux autorités

1. AFSSET, 2010.

politiques, le directeur notait que ces chaussettes peuvent avoir “un impact sur l’environnement absolument majeur” à cause du nano-argent qui s’échappe avec l’eau de lavage et représente une menace pour la faune aquatique, ainsi que pour le bon fonctionnement des stations d’épuration. Rappelant que “le nano-argent est un biocide, c’est-à-dire un agent qui détruit les organismes vivants¹, et que les études à son sujet ne peuvent pas nous laisser indifférents”, il présentait le contenu du rapport. Les experts de l’AFSSET avaient calculé que si seulement 10 % des chaussettes vendues en France contenaient du nano-argent, “18 tonnes d’argent seraient rejetées chaque année dans les eaux superficielles”. Un volume de rejet auquel il faudrait ajouter tous les textiles contenant du nano-argent mais aussi les produits de ses nombreuses autres applications. Le rapport rappelait en effet qu’il existait un “grand nombre de produits contenant des nanoparticules d’argent, occasionnant une importante dispersion environnementale”.

Le document soulignait par ailleurs que “pour l’homme, l’exposition cutanée lors du port de chaussettes contenant des nanoparticules d’argent est non négligeable”. Les calculs avaient en effet pu être menés directement sur l’être humain puisque les producteurs n’avaient même pas attendu de mesurer l’impact du port de chaussettes aux nanos sur les rongeurs...

Tout en déplorant le manque d’études qui auraient permis de se prononcer sur les conséquences sanitaires qui pouvaient découler de ce contact à travers les chaussettes, il évoquait d’autres voies d’exposition au nano-argent : dans des désodorisants, des produits d’entretien, des savons et des produits d’hygiène corporelle, des toiles de matelas, des serviettes, des sous-vêtements, des chaussures, des ustensiles de cuisine (planche à découper, récipients...), des filtres d’aspirateur, des tapis et des moquettes, des claviers d’ordinateurs, des téléphones, des éponges, des plastiques, des

1. Le mot “biocide” désigne toutes les substances qui ont cette propriété et qui entrent dans les produits pesticides, insecticides, fongicides...

peintures, des enduits... Le rapport laissait à l’AFSSA le soin d’aborder le problème de l’adjonction de nano-argent dans les aliments et les boissons. L’absence de recensement obligatoire des produits intégrant du nano-argent contraignait les rapporteurs de l’AFSSET à s’appuyer sur les inventaires existants, fatalement incomplets, pour prendre conscience de l’ampleur de ses applications. Il faisait état d’une liste de “526 produits pour plus de 264 sociétés” dressée sur la base des entreprises ayant pris l’initiative d’afficher leur présence dans leurs articles à des fins publicitaires.

“Il faudra envisager des interdictions”, a déclaré Martin Guespereau, en commençant par mettre les chaussettes à l’index. Il se permettait donc de mettre les pieds dans le plat, bien conscient que les chaussettes n’étaient qu’une des innombrables sources de la contamination. Un premier pas brisant le tabou des nanos intouchables. Parmi les journalistes qui l’ont interrogé, Vincent Olivier, de *L’Express*, lui a demandé si l’on s’orientait vers des suspensions ou de véritables interdictions. Le directeur de l’AFSSET n’a pas semblé hésiter : “Premier principe : si une substitution est possible avec un autre produit, il faut privilégier cette solution. Pour le reste, l’autorisation *a priori* devrait être réservée aux usages strictement nécessaires, ainsi qu’aux produits qui ne sont pas « émissifs » [non susceptibles de se répandre] et à ceux pour lesquels la balance bénéfice-risque penche indubitablement en faveur du bénéfice¹.”

La direction de l’agence faisait savoir par ailleurs qu’elle travaillait à une “grille de cotation des risques” qui serait rendue publique avant 2012. Elle n’aura toujours pas été livrée à la fin de l’année 2013 mais, manifestement, le regroupement de l’AFSSET et de l’AFSSAPS au sein de l’Agence nationale de sécurité sanitaire (ANSES), dont on pouvait craindre qu’il ôte à la première toute volonté de se distinguer, n’avait pas suffi à la faire taire. Roselyne Bachelot avait en effet décidé cette fusion qui plaçait l’AFSSET sous

1. Vincent Olivier, “Ne revivons pas le scandale de l’amiante avec les nanotechnologies”, www.lexpress.fr, 24 mars 2010.

la pression du ministère de l'Agriculture, c'est-à-dire sous celle du lobby agroalimentaire. Cette crainte était justifiée notamment parce que le regroupement avait été décidé au lendemain de rapports explosifs et juste avant la réalisation de cette nouvelle étude de synthèse. Elle avait conduit le conseil d'administration de l'AFSSET à se battre bec et ongles contre la ministre et à obtenir le maintien d'une certaine autonomie de leur structure dans le nouveau dispositif, au grand dam de l'Union des industries de la chimie (UIC¹).

Cette multitude d'expositions au nano-argent dépasse en effet le problème du passage à travers la peau ou les muqueuses (pour le moment, seul le passage est démontré en cas de lésions ou de blessures). Il n'est plus mis en doute que d'autres voies permettent à ces nanoparticules d'entrer dans l'organisme : elles peuvent facilement être inhalées ou avalées. Or, au chapitre de la génotoxicité, le rapport signale qu'elles ont la capacité, désormais bien démontrée, de faire des dégâts à l'intérieur de toutes sortes de cellules, en particulier au sein de leur noyau. En effet, les études font ressortir qu'elles ne respectent guère les gènes² : "Ces essais ont été effectués sur des types cellulaires de diverses origines. Au cours de ces essais, les nanoparticules d'argent ont induit des lésions de l'ADN dépendantes de la dose³." Et : "L'augmentation significative de la fragmentation de l'ADN après traitement par des nanoparticules d'argent est rapportée également par des méthodes non standard telles que la mesure de la phosphorylation de la protéine u-H2AX et le niveau de régulation de la protéine Rad5 qui indiquent directement ou indirectement la présence de cassures double-brin de l'ADN⁴."

À la lecture du document, on s'aperçoit que bien d'autres études confirment que ces nanos font preuve d'une

1. Voir à ce sujet André Aschieri (avec la collaboration de Roger Lenglet), *Mon combat contre les empoisonneurs*, La Découverte, 2011.

2. F. F. Larese, 2009 ; P. V. Asharani, 2009.

3. AFSSET, 2010, p. 70.

4. *Ibid.*

grande turbulence quand elles s'installent dans les cellules, même à de faibles concentrations : "Il apparaît clairement que les nanoparticules d'argent induisent un stress oxydant *in vitro* qui contribue aux modifications morphologiques cellulaires, au dysfonctionnement mitochondrial", etc.¹. Un chahut qui se termine régulièrement avec une "apoptose et/ou nécrose par arrêt du cycle cellulaire", c'est-à-dire l'autodestruction de la cellule elle-même².

La conclusion sur le nano-argent rappelle qu'une étude de toxicité par voie orale sur vingt-huit jours "a permis de mettre en évidence une augmentation significative et dépendante de la dose de la concentration en argent dans tous les tissus analysés". Et qu'après l'estomac, "les reins, le foie et les poumons se sont révélés être les organes les plus exposés. Le système immunitaire pourrait également être une autre cible des nanoparticules d'argent³."

Enfin, concernant les détails de leur impact sur l'environnement, l'AFSSET relevait que "les études sur la toxicité de l'argent nanoparticulaire sont nombreuses". Ces recherches montrent entre autres que des poissons peuvent en être victimes aussi, tout comme les petits organismes vivants, notamment par la destruction de leur ADN et le stress oxydatif des cellules.

Et sur les bactéries que ces nanos sont censées combattre ? "Le développement de la résistance bactérienne à l'argent, au même titre que leur résistance aux antibiotiques, doit être pris en considération." Sur cet aspect, les études renforcent régulièrement le soupçon que le nano-argent contribue à la multiplication des bactéries multi-résistantes aux antibiotiques et aux biocides.

Quelques jours plus tôt, c'était le Haut Conseil de la santé publique (HCSP) qui avait rendu un avis faisant officiellement savoir au ministère de la Santé que "les récentes études de toxicocinétique par inhalation, et par voie orale

1. *Ibid.*

2. *Ibid.*

3. S. W. P. Wijnhoven, 2009, cité par le rapport AFSSET, 2010.

chez le rat mettent en évidence un passage des nanoparticules d'argent à travers les barrières pulmonaire et digestive vers le sang, une distribution systémique et une accumulation faible mais détectable dans le foie, les reins, la rate, le cerveau et le cœur". Il demandait en conséquence une nouvelle fois qu'on soutienne les recherches sur "le devenir du nano-argent dans les aliments, dans l'eau, dans l'air, et une meilleure connaissance de ses effets sur l'homme et l'environnement, notamment sur les conséquences des effets génotoxiques et pro-apoptotiques [favorisant l'apoptose ou le suicide des cellules] qu'il pourrait entraîner à long terme en lien avec les différentes structures chimiques que prend le nano-argent dans les produits de consommation".

Ces avis rendus publics allaient contrarier les nombreux industriels utilisant du nano-argent. Tout d'abord en inquiétant leurs actionnaires : il en faut parfois beaucoup moins pour les voir filer vers d'autres valeurs. De même, il était prévisible que les consommateurs se détournent de produits facilement repérables malgré l'absence d'étiquetage par la mise en avant de leurs vertus anti-odeur ou antibactériennes. Cela risquait également d'ouvrir la porte à de futurs contentieux en cas de pathologies imputées à la présence de ces nanos. Et sans doute n'était-ce qu'un début. La veille des lobbyistes permettait de savoir que les associations de consommateurs, de plus en plus pressantes, allaient finir par obtenir que l'étiquetage des nanos devienne obligatoire... Une partie du public allait probablement découvrir à l'occasion du grand déballage que le secteur agroalimentaire mettait des nanosilices dans leurs denrées depuis des décennies sous la forme d'argent à l'état dit "colloïdal", c'est-à-dire d'une taille nanométrique mais supérieure à 100 nm...

Pour protéger leurs intérêts devant cette perspective, des lobbies avaient déjà poussé leur pion sur la case définition : obtenir que la définition officielle des nanos ne désigne que celles ne dépassant pas la taille de 100 nm avait permis d'exclure toutes celles se situant au-dessus. Elles allaient échapper ainsi aux futures lois et réglementations qui encadreraient les risques liés aux nanos. Les

silices nanométriques, par exemple, pourraient rester en grande partie dans cet angle mort, échappant à toute étude. Mais, pour l'argent "colloïdal", l'affaire n'allait pas être aussi simple, comme le montre ce qui s'est passé aux États-Unis. Malgré les assauts répétés que le Silver Institute, le lobby qui représente les industriels de l'argent, a menés contre l'Agence américaine de protection de l'environnement (EPA) pour la convaincre que le nano-argent restait le bon vieil argent, certes un peu toxique "à cause de la libération de ses ions", mais pas plus que ça, une ONG et une pétition signée par de nombreux Américains ont réussi à faire échouer les industriels (voir chapitre "Ne plus se laisser manipuler").

Autre pion avancé sur l'échiquier politique : obtenir l'exemption d'étiquetage pour les nanomatériaux utilisés "depuis longtemps"... Ce coup-là non plus n'était pas encore gagné, il fallait en convaincre les commissaires européens.

2013 : VOUS AVEZ DES NANOS À DÉCLARER ?

L'inertie des décideurs politiques devant l'invasion des nanos, qui leur a permis de proliférer sans traçabilité, risque un jour de se payer très cher, tout d'abord en termes de santé publique mais également en donnant lieu à des plaintes et des enquêtes judiciaires visant des responsables, comme ce fut le cas dans de précédents scandales sanitaires. En cas de drames, la mise en cause de personnalités de premier plan est hautement probable, ne serait-ce que médiatiquement, et l'on sait que le scandale salit généralement les réputations, même si elles échappent aux tribunaux. Comment expliquer que cette menace n'ait pas suffi à pousser les décideurs à faire respecter un minimum de prudence en imposant l'évaluation toxicologique des nanomatériaux avant de les autoriser ?

Certes, on a vu que l'emballlement planétaire dans la course aux nanos, sur fond d'aubaine économique, et la crainte de se laisser distancer dans des secteurs clés comme

l'armement ou la chimie ont fortement contribué à la paralysie du système de prévention. Est-ce aussi parce que les sanctions prévues contre les industriels et les ministres chargés d'assurer la protection de la population ne sont pas fixées à un niveau dissuasif? On peut le penser, mais il ne faut pas oublier le rôle déterminant de la hiérarchisation habituelle des priorités dans l'esprit des décideurs politiques, qui fait prévaloir l'essor des marchés sur la prévention. L'absence de culture en santé publique de nos gouvernants, du fait que leur formation n'y accorde qu'une place très périphérique, perpétue ce système de représentation. Il apparaît à l'analyse que toutes les grandes crises sanitaires qui nous ont frappés au cours des dernières décennies auraient pu être évitées si les gouvernants avaient fait passer la pression des lobbies industriels et financiers après la santé publique et la lutte contre les pollutions.

L'attitude des autorités face aux acteurs des nanotechnologies, multipliant les incitations économiques et retardant la mise en place d'un dispositif institutionnel qui aurait respecté la logique préventive, ne laissait plus espérer une politique de prévention un peu cohérente au tournant des années 2010. Finalement, avec vingt-cinq ans de retard sur ce qui s'imposait d'évidence, un décret a rendu obligatoire en France, à partir de 2013, la déclaration des nanomatériaux, avant le 1^{er} mai de chaque année¹.

Elle est obligatoire dès lors qu'une quantité minimale de 100 grammes de substance a été produite, importée ou distribuée dans l'année². L'obligation les contraint à détailler les usages de chaque type de nanoparticules, leur volume et la liste de leurs clients. Hormis les observateurs qui faisaient de la veille réglementaire – à commencer par

1. Décret n° 2012-232 du 17 février 2012 relatif à la déclaration annuelle des substances à l'état nanoparticulaire pris en application de l'article L. 523-4 du Code de l'environnement. La déclaration doit être déposée auprès de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES), sur le site Internet www.r-nano.fr

2. La déclaration n'impose pas d'évaluation toxicologique.

les industriels et les associations les plus attentives –, peu de monde s'y attendait. Au demeurant, les médias y restèrent plutôt indifférents, ne consacrant généralement au sujet qu'un simple entrefilet, si ce n'est noyé parmi les articles de leur site Web. L'hebdomadaire *L'Usine nouvelle*, qui informe régulièrement les entreprises sur les évolutions réglementaires auxquelles elles doivent se soumettre, n'a repris lui-même l'information que le 21 février 2013, dans un article intitulé "Il est temps de déclarer vos nanoparticules!", signalant que l'obligation s'imposait depuis bientôt deux mois et que les employeurs avaient jusqu'au 1^{er} mai pour s'en acquitter¹. "Une démarche inédite en Europe qui concerne les grands groupes comme les PME", précisait le magazine, comme s'il s'agissait d'une belle performance française, et sans s'indigner sur le retard caractérisé.

L'Usine nouvelle ne s'aventurait pas non plus à pointer les faiblesses du décret. Pourtant, elles sont criantes. L'obligation de déclaration ne concerne en effet que les nanos "dont les dimensions sont comprises entre 1 et 100 nm", laissant à celles qui sont justes au-dessus le droit à l'invisibilité et n'abordant pas le problème de celles qui, ne dépassant pas 2 nm, restent quasi indétectables. Pire encore, la déclaration exclut les matériaux qui ne contiendront pas plus de 49 % de nanos. Et les entreprises pourront même passer sous silence leur présence quand la quantité ne dépasse pas 100 grammes de nanoparticules, ce qui reste énorme compte tenu de leur taille infime. Encore une fois, le lobbying des industriels aura triomphé : les mailles du filet laisseront passer beaucoup de nanomatériaux, et non des moindres.

Le public va-t-il pouvoir consulter ces informations? Les lobbies industriels ont pesé de tout leur poids pour l'empêcher et, devant l'insistance des autorités tout de même soucieuses d'endiguer la question, ils ont obtenu qu'une partie seulement des données lui soit accessible. Ainsi, les laboratoires de recherche n'auront qu'à remplir une déclaration

1. *L'Usine nouvelle*, n° 3319, 21 février 2013.

simplifiée et, même quand ils rejettent des nanoparticules dans la nature, les informations seront systématiquement considérées comme relevant du secret industriel. Quant aux entreprises, celles qui le désirent pourront aussi bénéficier de cette discrétion, soit à titre dérogatoire en faisant une demande au ministère de la Défense, soit également au nom du secret industriel.

Il est étonnant aussi que les analyses censées caractériser la taille et la courbe de distribution sur les fiches de déclaration des nanos ne soient pas fixées par une méthodologie normalisée et qu'elles puissent être réalisées par l'entreprise elle-même ou un organisme au choix, tel le CEA, l'INÉRIIS ou le CNRS, structures dont les contrats avec les entreprises se sont multipliés au cours des trente dernières années. Cette liberté ne risque-t-elle pas de laisser place à des situations de conflit d'intérêt qui pourrait fausser l'objectivité des analyses ? Il serait en effet important que l'on ne reproduise pas l'erreur commise avec d'autres substances dangereuses où l'on ne compte plus les analyses complaisantes de laboratoires ayant des liens d'intérêt avec la société contrôlée (comme on le voit dans des contrôles de la présence d'amiante par exemple). Dans ces conditions, le calcul des taux de nanoparticules contenus dans les matériaux ou la caractérisation de leur taille, laquelle peut constituer un paramètre déterminant de leur toxicité, restera suspect. On peut se demander notamment si les grandes entreprises qui comptent d'innombrables filiales équipées pour mener ces analyses, comme c'est tout particulièrement le cas dans les secteurs de la chimie, du médicament et de l'agroalimentaire, résisteront toujours à la tentation d'influencer favorablement les résultats pour soustraire certains matériaux à la déclaration afin de réduire les risques de voir un jour des victimes se retourner contre elles. Il sera dès lors impossible à ces dernières d'imputer la responsabilité de leur éventuelle pathologie à des nanomatériaux qui seront restés dans l'ombre.

En 2011, la Direction générale de la compétitivité, de l'industrie et des services (DGCIS), prévoyait que le nombre

d'entreprises concernées par l'obligation de déclarer leurs stocks devait tourner autour de deux cents¹. Il nous apparaît hélas que ce chiffre ne correspondait pas, loin s'en faut, à celui que l'on peut dégager si l'on prend en compte l'ensemble des sociétés de production, de transformation et de distribution.

Les grands groupes concernés sont en priorité ceux de la chimie. Arkema apparaît comme l'un des grands producteurs de nanoparticules. Certaines PME, comme Nanomakers, sont également des producteurs importants malgré leur dimension apparemment modeste. Cette entreprise fournit la France en nanopoudres de carbure de silicium. D'autres groupes se contentent encore d'importer les nanos sans bien savoir ce que contiennent exactement leurs stocks de matériaux. Pour l'heure, ils sont censés s'informer auprès de leurs fournisseurs au cas où ils auraient des soupçons... Leurs conseillers juridiques leur recommandent de bien conserver la trace écrite de leurs questions, qui servira à démontrer leur "bonne foi" en cas de contentieux.

Au cas où un contrôle viendrait à mettre le doigt sur une fausse déclaration, le décret prévoit que l'entreprise serait sanctionnée par une amende ne pouvant pas dépasser 3 000 euros, puis de 300 euros d'astreinte par jour débutant à partir du jour de la décision la fixant et jusqu'à la satisfaction de l'obligation. On peut trouver curieux, là encore, que le texte n'ait pas fixé une amende plus dissuasive et prenant en compte la dimension du marché concerné. Pour les grandes entreprises, un tel montant ne pèsera pas plus que l'achat d'un paquet de chewing-gum pour un ménage moyen.

Enfin, dans l'état actuel de la réglementation européenne sur l'évaluation toxicologique des nanos, cette déclaration n'a pas encore de véritable conséquence. On ne voit toujours pas poindre, à l'heure où j'écris ces lignes, une adaptation du règlement REACH pour fixer des obligations

1. Direction générale de la compétitivité, de l'industrie et des services, *Le 4 Pages*, n° 16, décembre 2011.

d'évaluation spécifique des propriétés toxicologiques des nanos.

La déclaration présente en théorie l'intérêt de rendre possible un futur recensement des personnes exposées dans le cadre de leur profession. Elle répond ainsi à la demande de médecins du travail exprimée dès le début des années 2000. Là aussi, ce retard considérable se traduira peut-être par des maladies professionnelles qui étaient pourtant parfaitement évitables et qui, de ce fait, donneront lieu à des condamnations d'employeurs pour "faute inexcusable" en cas de procès au civil¹. Procès qui n'excluent pas de pouvoir saisir aussi la justice pénale.

Malgré son retard objectif – tous les acteurs un tant soit peu responsables et soucieux de préserver la santé publique et l'environnement la réclamaient depuis le début de l'aventure des nanos –, cette obligation de déclaration a fait de la France le premier pays européen à pouvoir procéder à un inventaire de grande envergure². Mais des obstacles de taille devront encore être surmontés. Des produits échappent aux autorités du fait que la loi autorise les industriels incorporant des matériaux d'importation, pour se dégager de toute responsabilité, à demander simplement à leurs fournisseurs étrangers une déclaration écrite leur assurant que leurs livraisons ne contiennent pas de nanos. Ce qui laisse la porte ouverte à des pratiques de sous-déclaration.

Point positif, le décret français a suscité des réactions chez certains voisins européens, bien que tout le monde traîne encore des pieds. Le Danemark devrait l'adopter à son tour prochainement et sera sans doute imité par l'ensemble des pays du Nord. Il est tout de même impressionnant que

1. Ces condamnations sont financières. On en compte des milliers en France depuis le début des années 1990, essentiellement grâce au savoir-faire acquis dans le cadre des contentieux liés à l'affaire de l'amiante.

2. Avant 2013, des inventaires ont été dressés dans divers pays (États-Unis, Danemark...), mais ils ne reposaient pas sur une déclaration obligatoire et sont donc restés très lacunaires.

ces derniers n'aient pas précédé l'Hexagone sur ce terrain, eux qui sont habituellement beaucoup plus prompts à fixer des mesures de prévention au regard des risques toxicologiques. C'est dire combien le dossier des nanos représente un tabou. D'autres membres de l'UE, comme l'Italie, préfèrent envisager un registre facultatif, dont on sait pourtant qu'il constituerait une aberration compte tenu de la propension des entreprises à rester muettes pour éviter les sanctions commerciales et judiciaires.

Il est tout aussi remarquable de voir Bruxelles piétiner sur le sujet. Comme le souligne AVICENN, groupe citoyen qui a ouvert en 2011 un site destiné à observer le développement des nanos et les évolutions de leur encadrement : "Une harmonisation à l'échelle européenne des différentes initiatives nationales prises ou envisagées par les États membres est vivement souhaitée par la société civile, et en mars 2013 la Commission européenne vient d'ouvrir la discussion sur la faisabilité d'un inventaire des produits nanos à l'échelle européenne (même si la conclusion en était positive, il faudra sans doute attendre encore un certain laps de temps avant sa concrétisation)... grâce aux diverses réglementations européennes qui vont bientôt rendre obligatoire l'étiquetage des nanomatériaux dans les cosmétiques, dans les biocides et dans l'alimentation au niveau européen. Les améliorations attendues ne seront cependant que partielles, car en l'état actuel des textes, les informations mises à disposition du public seront relativement limitées¹."

UNE BASE DE DONNÉES PUBLIQUE SUR LES PRODUITS NANOS

"Nous ne communiquons pas sur le sujet..." La réponse du ministère de l'Environnement à ma question, en novembre 2013, est d'une sécheresse inhabituelle. J'insiste :

1. AVICENN, veillenanos.fr

“Ce n’est pas très compliqué, je vous demande juste si, comme les textes le prévoient, vous allez mettre à la disposition du public la base de données que vous avez recueillies grâce aux déclarations des industriels sur la présence de nanoparticules dans leurs produits...” Après un petit silence, la formule revient : “Je viens de vous le dire, nous ne communiquons pas sur le sujet...” Le labeur de l’investigation exige toujours de l’entêtement : “Oui, j’ai bien compris mais je demande simplement, compte tenu de la gravité du problème, s’il est prévu que le public ait accès, un jour ou l’autre, à ces données...” Mon interlocutrice, chargée de communication, se tend légèrement, s’efforçant de remplacer ses pensées par une bande magnétique : “Nous ne communiquons pas sur le sujet...” Changement de registre, un peu goguenard : “Bon, je suis embêté pour vous, cette réponse est vraiment mauvaise.” Le magnétophone s’enraye un peu et lâche quelques mots de plus : “Je vous le répète, nous ne communiquons pas, on est toujours en attente d’arbitrages qui sont en cours actuellement et, comme je vous l’ai déjà dit, voilà tout.” Quels sont les acteurs qui participent à ces arbitrages en cours, les industriels, les associations de consommateurs ? “On ne peut rien dire.” Elle se verrouille, je n’en obtiendrai pas plus par là. Pour le moment.

Du côté du ministère de la Santé, les choses ne s’annoncent pas plus simples puisqu’il renvoie à l’Environnement. Ce refus de communiquer est éloquent.

En remontant du côté de l’ANSES, les choses s’éclairent un peu. Dans un premier temps, l’agence renvoie sur le ministère de l’Écologie : “Nous ne sommes pas habilités pour parler des données qui pourraient être rendues accessibles au public. Seul le ministère de l’Écologie en a la responsabilité, c’est lui qui gère cet aspect.” Finalement, une discussion directe avec Dominique Gombert, le directeur de l’évaluation sanitaire de l’ANSES, va entrouvrir le rideau : “Il est vrai que ce n’est pas nous qui allons communiquer là-dessus. On transmet les données à nos ministères de tutelle [Écologie, Agriculture et Travail (*N.d.A.*)],

ensuite c’est le ministère de l’Écologie qui coordonne le tout. Les discussions, je ne peux pas trop en parler... disons qu’il y a des arbitrages interministériels sur la partie des informations qui seront rendues publiques et sur la forme du message... La communication était initialement prévue pour novembre 2013. Cela devrait donc être imminent¹...”

Quels ministères participent à l’arbitrage ? “En fait, tous les ministères, ils sont tous concernés : la Santé, bien sûr, l’Économie, l’Industrie, l’Agriculture, des services comme la DGCCRF...” Cela fait beaucoup d’arbitres. Pour un problème qui relève de la santé publique, on peut même considérer qu’il est malsain de voir autant d’acteurs économiques se pencher sur le berceau qui, appelons un chat un chat, contient une bombe sanitaire réclamant un désamorçage urgent plutôt qu’une communication bien orchestrée. La gestion du dossier paraît décidément très compliquée. Ce qui aurait été élémentaire si l’évaluation toxicologique avait précédé la mise sur le marché est devenu un terrible casse-tête non seulement sanitaire mais économique.

L’embarras du gouvernement devant ce dossier est immense. Cet arbitrage interministériel en témoigne mais aussi la tentative de traiter le problème avec la plus grande discrétion et en tentant de le minimiser. On peut y voir l’explication du fait que c’est le ministère de l’Écologie qui l’a officiellement en charge. Un petit ministère pour une énorme affaire de santé publique qui, selon la tradition, devrait être traitée en priorité par le ministère de la Santé puisque de nombreuses personnes y sont déjà exposées depuis des années et peuvent avoir contracté des pathologies. En tout état de cause, le problème fera ainsi moins peur et son urgence sera minimisée en le faisant passer pour un simple problème d’écologie.

1. Entretien du 20 novembre 2013.

LA FILIÈRE NANO EN FRANCE EST GIGANTESQUE

Les inventaires des nanomatériaux que divers sites Internet dressent énumèrent entre 1 000 et 1 500 articles ou produits concernés. Le chiffre est déjà impressionnant, mais il est sans doute très inférieur à la réalité. Cette sous-estimation se laisse deviner par la disproportion entre le nombre envisagé d'entreprises déclarantes de la filière des nanomatériaux (200 à 300 entreprises selon la DGCIS, comme nous venons de le voir) et le nombre finalement recensé après la déclaration clôturée en juillet 2013 : 930 !

Ce nombre n'avait pas encore été rendu public au mois de décembre 2013. Je l'ai appris en interrogeant Dominique Gombert, qui dirige l'évaluation sanitaire à l'ANSES, l'agence qui a recueilli les déclarations des entrepreneurs avant de les transmettre au gouvernement. Mon ciel s'est assombri d'un coup en écoutant la réponse : "Nous avons reçu les formulaires de plus de 3 000 déclarations. C'est bien plus que ce que nous attendions..." En effet, ce nombre signifie que le marché est littéralement envahi par les nanos. Même si les nanomatériaux de certains fournisseurs peuvent se retrouver dans des articles identiques, il est très probable que ces déclarations¹ représentent un nombre d'articles contenant une quantité de nanomatériaux bien plus élevée que les 1 000 à 1 500 déjà recensés. Dominique Gombert tempère ce raisonnement : "Attention, il n'y a pas de lien calculable entre le nombre de déclarations et le nombre de produits car des nanomatériaux circulent de l'un à l'autre. Mais il est sûr que les inventaires existant aujourd'hui sont très embryonnaires... De plus, ce n'est que la première année de déclaration, ça m'étonnerait que toutes les entreprises aient déclaré leur nanos..."

L'échange avec ce responsable permet au passage de revenir sur les insuffisances du formulaire de déclaration : "Seuls les tonnages des usages généraux sont indiqués, par exemple tant de tonnes de nano-argent dans les aliments

ou dans le textile. Autrement dit, nous n'avons pas d'information sur les articles où ces nanomatériaux ont été incorporés. Il faut dire que certains entrepreneurs sont incapables de dire dans quels produits leurs nanomatériaux ont fini leur course."

On le comprend, ce n'est pas cette déclaration qui permettra de créer une base de données très précise pour les consommateurs...

L'OMS BOUGE ET SE SOUCIE DES ENFANTS

Le 6 novembre 2013, Bergeson & Campbell, un cabinet de lobbying et de conseil juridique spécialisé dans la défense des industriels vendant des produits toxiques, diffusait une nouvelle brûlante à ses clients... La sortie d'un rapport de l'OMS sur les nanotechnologies et la santé¹. Le cabinet les informait des conclusions de l'enquête sanitaire, avec un titre alarmant : "L'OMS demande l'application du principe de précaution sur les nanomatériaux."

Lynn Bergeson, responsable du cabinet, signait le communiqué sans entrer dans les détails mais citait la phrase clé des rapporteurs : "Compte tenu de l'incertitude scientifique et des éléments émergents, et compte tenu des premières indications de danger et des effets possibles sur la santé humaine indésirables qui ont été émises pour certains nanomatériaux, l'application du principe de précaution paraît souhaitable²." L'information, brève et d'une grande réactivité, confirmait son urgence : elle signifiait que chacun devait se préparer à traverser la houle. Certains d'entre eux allaient d'ailleurs rapidement s'apercevoir que ce rapport émanait de la branche européenne de l'OMS et qu'il était donc encore possible d'interférer dans le processus, parfois très long, avant que l'ensemble de l'organisation n'adopte une position mondiale.

1. Elles atteindront finalement le nombre de 3 400 pour l'année 2013.

1. OMS, décembre 2012, rendu public en 2013.

2. Sur le site officiel de Bergeson & Campbell : www.lawbc.com

Le rapport de l'OMS, achevé en décembre 2012, avait un peu traîné avant de sortir. Son contenu plutôt explosif avait demandé une rédaction arrondissant les angles pour ne pas provoquer de panique dans l'opinion et pour réduire autant que possible les effets néfastes, voire catastrophiques pour la cote des entreprises les plus en vue. Ce qui d'ailleurs est dans les habitudes de l'OMS et de nombreux autres organismes. Tel est le destin des enquêtes des grandes institutions qui risquent de créer des remous sur les marchés. Et toucher aux nanotechnologies risquait de créer une onde de choc dans tous les secteurs économiques mais aussi de contrarier les gouvernements.

Le rapport n'était pas non plus très précocé. Il venait un peu "après la bataille", c'est-à-dire avec plus de dix ans de retard sur les enquêtes publiées par les autres organismes publics. "L'Organisation mondiale de la santé (OMS) n'a jamais brillé par sa promptitude, sauf en matière de risque infectieux quand il s'agit de mettre en place des campagnes de vaccination massive qui, de fait, enrichissent les firmes pharmaceutiques." Cette remarque recueillie auprès d'un expert de l'illustre organisation, qui confirme par ailleurs le fait que l'OMS ne filtre pas toujours assez ses conseillers au regard de leurs liens d'intérêts avec les laboratoires, revient souvent dans la bouche des spécialistes de santé publique. Surtout depuis l'affaire du vaccin contre la grippe H1N1 qui a révélé la présence, au sein du groupe de spécialistes à l'origine de la décision de l'OMS, d'experts en situation de conflit d'intérêt avec les principaux producteurs de vaccins. On a vu également des pratiques de manipulation des cigarettiers sur certaines branches de l'OMS, et de lobbyistes de syndicats professionnels défendant des produits pourtant franchement toxiques, tels le mercure ou le chlore¹... Néanmoins, comme le soufflait un autre fonctionnaire, "l'OMS est capable du pire comme du meilleur et son rôle est précieux, il faut donc l'aider à

1. Cf. Marie Grosman et Roger Lenglet, *Menace sur nos neurones...*, *op. cit.*

s'améliorer". En l'occurrence, sur les nanos, elle sortait enfin du bois avec une recommandation de poids. Mieux valait tard que jamais.

Les rapporteurs ne se vantaient d'ailleurs pas d'être en avance : "La recherche sur les nanotechnologies et la santé s'est amplifiée régulièrement au cours des dix dernières années et a généré une connaissance approfondie." Ils plaçaient les nanotubes de carbone et le dioxyde de titane en tête des préoccupations, surtout pour les personnels exposés au travail, de même que les nanoparticules d'argent. De manière plus générale, le document mettait en avant la nécessité de mener des recherches sur les axes négligés et "en particulier sur les impacts à long terme".

Il préconisait en conséquence d'adopter une approche intégrant le principe de précaution¹. Une démarche rendue nécessaire par l'introduction des nanoparticules tous azimuts : "Les nanomatériaux font leur chemin dans tous les aspects de nos vies, ces matériaux sont de plus en plus utilisés dans les applications pharmaceutiques et médicales, dans les cosmétiques et les produits de soins personnels, le stockage de l'énergie, le traitement de l'eau et la filtration de l'air, l'assainissement de l'environnement, les capteurs chimique et biologique, la défense et les explosifs militaires." Le rapport citait aussi les produits alimentaires "dans lesquels les nanomatériaux peuvent être utilisés pour apporter de nouveaux goûts et saveurs"... Tout en notant l'accroissement de la production des nanos, ainsi que "la prolifération programmée des applications".

Il soulignait surtout qu'on était encore loin d'avoir cerné l'ensemble des risques et qu'il y avait un "urgent besoin d'évaluer le niveau d'exposition de la population aux nanomatériaux, au fil du temps et pour les différents groupes de populations", tout particulièrement les enfants. "Il est bien connu que les enfants sont disproportionnellement plus sensibles que les adultes quand il s'agit d'expositions à des produits chimiques dangereux", à cause de

1. Sur le principe de précaution, voir p. 181-185.

leurs “taux élevés de division cellulaire, leur faible capacité à métaboliser, leur capacité d’excrétion immature et leurs comportements exploratoires multipliant les expositions (mains-à-bouche, objets-à-bouche, ingestions diverses)”. Dans le cas des bébés, les “biberons, tétines et produits de santé contenant des nanoparticules d’argent” apparaissent aussi à l’OMS comme une source d’inquiétude. Et d’évoquer les fœtus dont les voies d’exposition par le placenta et l’allaitement maternel sont particulièrement préoccupantes¹.

Le moins qu’on puisse dire est que la balle est désormais clairement dans le camp des autorités gouvernementales. On peut aussi espérer qu’à l’occasion de ce rapport de plus nombreuses associations montent au créneau, voire que les acteurs du programme pour l’environnement des Nations unies (PNUE) s’emparent du dossier des nanotechnologies. Après tout, le PNUE a bien obtenu que cent trente-neuf États signent en 2011 une convention d’interdiction progressive de la plupart des usages du mercure². Un accord juridiquement contraignant. Et d’autres substances chimiques sont dans son collimateur, comme le plomb, le cadmium et l’ensemble des polluants organiques persistants. Bien entendu, l’éventualité d’une semblable convention, même si elle devait se dessiner sous la pression des ONG, ne doit pas retarder les actions citoyennes, mais elle montre que l’importance des marchés n’est pas forcément un obstacle infranchissable.

GÉNOTOXICITÉ DE 15 NANOMATÉRIAUX

En février 2013, un rapport de l’ANSES était remis aux autorités et présenté à Bruxelles sur la génotoxicité de

1. OMS, 2012, p. 1-4.

2. À ce sujet, Marie Grosman et Roger Lenglet, *Menace sur nos neurones...*, op. cit., p. 39-41.

15 sortes de nanomatériaux de trois familles¹ : 4 aux silices synthétiques, 5 au dioxyde de titane et 6 aux nanotubes de carbone. Il s’agissait plus précisément de vérifier si leur capacité à endommager les gènes pouvait entraîner des cancers et des problèmes de reproduction... Le rapport rendait publics les résultats d’une recherche associant de nombreux pays de l’UE, avec le concours du CEA. Le programme de recherche nommé Genotox avait été lancé en 2010, suite à la demande de la commission Santé des consommateurs de la CE.

On peut y lire : “En résumé, les études actuelles suggèrent que de nombreux nanomatériaux manufacturés ont un certain potentiel génotoxique détectable dans les cellules humaines *in vitro*².” Cette génotoxicité, quoique manifeste, a toutefois été estimée comme “faible”, précise le rapport. Concernant la cancérogénicité des différents nanos, par contre, les chercheurs ne pouvaient pas encore distinguer clairement le potentiel délétère de chacune d’elles.

Tel était le résultat de ce programme de recherche qui avait coûté 6,2 millions d’euros, mobilisé une trentaine d’organismes et de services ministériels de treize États membres durant trois années. Dans le *Journal de l’environnement*, la journaliste Marine Jobert ironisait devant la minceur des résultats au regard des moyens mis en œuvre et titrait son article : “Nanogenotox : trois ans de recherche pour savoir qu’on ne sait pas grand-chose³”. On la comprend, surtout si l’on tient compte du fait que des études montraient déjà bien avant Genotox que les nanos aimaient faire du tourisme dans nos organes et jouer avec notre ADN au cœur des cellules. Les rapports de synthèse l’avaient d’ailleurs amplement rappelé des années avant que le projet Nanogenotox soit esquissé.

1. ANSES, mars 2013.

2. *Ibid.*, p. 32.

3. Marine Jobert, “Nanogenotox : trois ans de recherche pour savoir qu’on ne sait pas grand-chose”, *Journal de l’environnement*, 26 février 2013.

On ne peut donc qu'être déçu. Mais ce programme européen aura tout de même fait reculer les lobbystes industriels qui auparavant mettaient en doute cette génotoxicité en prétextant que le flottement des normes protocolaires discréditait les études. Et peut-être aura-t-il eu un autre mérite : l'accord des différents partenaires européens sur les protocoles aura permis d'ouvrir une voie. Comme le note finalement le rapport, les règles communes dégagées permettent d'espérer qu'à l'avenir, sur les aspects qui restent à étudier, "les résultats de tests de génotoxicité soient partagés et acceptés par les différents États membres, en évitant ainsi la répétition inutile des expériences".

Les résultats de ce programme de recherche confirment (une nouvelle fois) que chaque nanomatériau a sa spécificité toxicologique à l'intérieur d'une même famille, ce qui rend d'autant plus colossal le travail des toxicologues. Ce faisant, les rapporteurs nous incitent à réfléchir (sans doute un peu malgré eux) : face à l'inventivité débordante des ingénieurs industriels, l'idée qu'on devrait laisser librement se multiplier les innovations nanotechnologiques et se dire qu'on pourra toujours progressivement contrôler les risques au cas par cas apparaît pour le moins farfelue. Ce rapport aura aussi rappelé un paradoxe que la toxicologie a déjà identifié avec d'autres produits : les chercheurs ont montré que des doses fortes de nanomatériaux sur des cellules pouvaient n'entraîner qu'un effet discret, alors que des doses plus faibles provoquaient des réponses fortes.

Reste bien sûr que le rapport ne dit rien de l'accumulation des différentes sources génotoxiques dans notre environnement quotidien et de leur synergie. Comme il ne dit mot des effets à faibles et moyennes doses à long terme, faute de les avoir évalués.

1. *Ibid.*, p. 45.

Y A-T-IL DES INDUSTRIELS DANS LA SALLE ?

L'auditoire était particulièrement attentif, le 13 novembre 2013, dans la salle où l'ANSES avait organisé une série de communications sur les résultats du programme national santé-environnement-travail¹. Une demi-journée était consacrée aux conclusions de différentes études toxicologiques menées récemment sur les nanotechnologies. On pouvait distinguer dans l'auditoire des représentants discrets de nombreux acteurs économiques et institutionnels concernés par le développement des nanos. Un condensé éloquent de tous ceux qui composent le puzzle explosif de ce marché devenu ultrasensible s'était inscrit pour y assister : des cabinets de lobbying et de conseil pour les entreprises ayant investi dans les nouvelles technologies, les laboratoires pharmaceutiques (Sanofi, Bayer, Eydo Pharma...), industriels de la chimie (Arkema, Solvay, Union des industries chimiques [UIC], Maison de la chimie...), de la cosmétique et des parfums (L'Oréal, Dior...), de l'armement (Thales, Service de santé des armées, Institut de recherches biomédicales des armées...), du bâtiment (Centre scientifique et technique du bâtiment), des transports (SNCF...), de l'énergie (CEA, EDF, GDF-Suez, A2A...), du traitement des eaux et des déchets (Veolia Environnement, Agences de bassin...), de l'agroalimentaire (Unilever, BASF, Agro, Centres Leclerc, Tradi-Agri, INRA, le ministère de l'Agriculture...), des pneumatiques (Michelin...), des céramiques (Thermal Ceramics, Saint-Gobain-CREE)... Le MEDEF y était également représenté.

On y reconnaissait aussi des observateurs directs de la recherche ou de la sécurité sanitaire, tels que le Laboratoire d'analyses vétérinaires et alimentaires, l'INCa, des hôpitaux, des universités scientifiques, le CNRS, l'ANDRA, le ministère du Travail...

Nathalie Thieriet, chef de projet scientifique à l'unité d'évaluation des risques de l'ANSES et coresponsable de

1. Au siège de l'ANSES à Maisons-Alfort, dans la banlieue parisienne.

Nanogenotox, ouvrait le bal en rappelant les résultats de cette vaste étude qui avaient confirmé la génotoxicité de 15 nanomatériaux, tout en modérant les inquiétudes sur cet effet en le qualifiant de “faible”.

Un ingénieur chimiste de Michelin, justement, avait bien fait de retenir une place... Ce dernier a-t-il rapporté à la direction de l'entreprise l'incident survenu lors de la dernière conférence intitulée “Étude de relargage par abrasion de nanocharges dans l'air”? L'intervenante qui présentait l'étude qu'elle avait dirigée était censée s'en tenir à quelques résultats très limités. Son propos consistait à dire que le cycle de vie des composites polymères contenant des nanotubes de carbone et d'autres nanos était généralement bien maîtrisé et qu'il ne posait pas de risque de relargage pour la santé publique dans la mesure où ces polymères ne se trouvaient normalement pas soumis à des abrasions excessives, hormis sur des postes professionnels à protéger. Mais une femme présente dans la salle a posé une question à laquelle l'experte ne s'attendait pas : “Il paraît qu'il y a des nanoparticules dans les pneus. Leur abrasion a-t-elle été étudiée au niveau du freinage?”

La conférencière a marqué un silence gêné, puis une réponse bredouillante est sortie de sa bouche : “Je dirai que... Oui, heu... dans notre laboratoire on a fait effectuer ce type de test... Et alors... je ne suis pas autorisée à délivrer les informations...”

Une clameur s'est élevée, mêlée de protestations et de rires. Devant le tollé, l'experte a tenté de calmer la salle : “Je vais quand même compléter en disant que c'est une étude préliminaire et qu'un jour ça sortira mais pour l'instant... heu... l'entreprise qui nous a... sollicités... pour cette étude ne souhaite pas que...” Le public n'en saura pas plus.

ÉTIQUETAGE DES ALIMENTS : LA HANTISE DES INDUSTRIELS

Le 22 novembre 2011, Bruxelles semblait enfin décidée à imposer au secteur alimentaire un étiquetage signalant la présence des nanomatériaux parmi les additifs¹. Le règlement européen fixant cette obligation, dûment publié ce jour-là au *Journal officiel de l'Union européenne*, fixait son entrée en application en décembre 2014. L'alinéa 3 de son article 18 annonçait qu'à partir de cette date : “Tous les ingrédients qui se présentent sous forme de nanomatériaux manufacturés sont indiqués clairement dans la liste des ingrédients. Le nom des ingrédients est suivi du mot « nano » entre crochets.” Les associations de consommateurs qui suivaient le dossier se sont immédiatement réjouies. Trop vite...

Les lobbyistes industriels ne baissent jamais les bras, ils sont payés pour se battre jusqu'au bout et même au-delà. Qu'une loi soit votée et même que des décrets soient pris ou qu'une directive soit promulguée ne les empêche pas de continuer à monter à l'assaut pour l'écorner, l'ébrécher, lui arracher un mot, une ligne, puis un paragraphe. En l'occurrence, les lobbies de l'agroalimentaire ont refusé de se faire à l'idée de cet étiquetage et les représentants de la Nanotechnology Industries Association (NIA) se sont énergiquement mobilisés pour faire réviser le règlement. Tenaces, bardés de moyens, ils ont finalement obtenu en septembre 2013 que la Commission européenne fasse un grand pas en arrière en publiant un projet qui modifiait non pas la date d'entrée en vigueur du texte mais mieux, beaucoup mieux.

En s'attaquant à la définition même des nanomatériaux, ils ont réussi à faire accepter aux commissaires européens l'idée qu'on ne saurait qualifier de “nanos”, aux yeux du consommateur, des nanoparticules auxquelles ils se sont

1. Règlement 1169/2011, *Journal officiel de l'Union européenne*, 22 novembre 2011.

déjà habitués depuis “longtemps”. Qu’entendaient-ils exactement par “longtemps”? Une durée assez inattendue concernant les nanos : “Des décennies.” On découvrirait à cette occasion que des producteurs faisaient avaler à la population des nanomatériaux depuis des décennies. Mais ce n’est pas ce qui a ému la Commission.

Alors que cet argument n’avait pas la moindre légitimité au regard de la définition scientifique des nanomatériaux, il a apparemment suffi à emporter la décision de les redéfinir. Le résultat a ravi les producteurs et les distributeurs : une grande partie des nanos sera ainsi exclue de l’obligation d’étiquetage... Ainsi de nombreuses denrées alimentaires paraîtront ne comporter aucune nano alors qu’elles en seront saturées.

La NIA s’est empressée de l’expliquer à ses entreprises adhérentes : “Cette proposition de révision aura pour conséquence que certains additifs alimentaires, qui avaient été enregistrés comme « nano », ne puissent plus être classés comme tels¹.”

En fait, pour accomplir ce tour de force, le lobby avait fait inclure dans le règlement de 2011 un alinéa supplémentaire au style abscons : “Afin de réaliser les objectifs du présent règlement, la Commission ajuste et adapte, par voie d’actes délégués en conformité avec l’article 51, la définition des « nanomatériaux manufacturés » visée à l’article 2, paragraphe 2, point t, au progrès scientifique et technique ou aux définitions convenues à un niveau international².”

La NIA rapporte à ses membres l’argument décisif qu’elle a proposé à la Commission : “Le mot « nanos » entre crochets [prévu sur les étiquetages] pourrait entraîner une confusion dans l’esprit des consommateurs en donnant à penser que ces additifs sont nouveaux, alors qu’en réalité ils ont été utilisés dans les aliments sous cette forme depuis des décennies.” La NIA annonce que le texte officiel

1. NIA, 12 septembre 2013, consultable sur www.nanotechia.org

2. Alinéa 5 du règlement 1169/2011.

sera abordé dans le cadre d’un “programme de réévaluation dirigé par l’Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA)”¹.

Ainsi vont les lois et le langage sous la houlette des lobbies industriels qui mènent une incessante guerre des mots pour développer leurs marchés, faire plier les institutions et modeler l’opinion, quoi qu’il en coûte à la collectivité². Un jour de grande sincérité, Richard Smalley a défini les nanotechnologies comme “l’art et la science de faire des choses qui font des trucs à l’échelle du nanomètre”. Andrew Maynard, l’un des organisateurs de la recherche internationale sur les risques des nanos la cite souvent : “J’aime cette définition parce qu’elle est vague.” Il sait que le champ des nanotechnologies est si large qu’une définition trop précise exclurait de nombreuses catégories de nanos : “Si l’on prend dix nanotechnologies différentes, on a au moins vingt définitions différentes³.” Les industries impliquées dans la production de nanos le savent aussi, hélas, tandis que les commissaires européens semblent manifestement vouloir continuer de l’ignorer.

1. NIA, *op. cit.*

2. Au sujet de la guerre des mots menée par les lobbies au détriment de la santé publique, voir “Le mot et la chose”, chapitre de Roger Lenglet in *Lobbying et santé : comment certains industriels font pression contre l’intérêt général*, Éditions Pascal-Mutualité française, 2009.

3. Entretien avec le Dr Andrew Maynard sur les nanotechnologies, Muna Oli, *Young Scientist Journal*, février 2010.

III

NE PLUS SE LAISSER MANIPULER

LE PUBLIC FACE AUX ÉTIQUETTES

La mention des nanos sur les aliments, bien que cela soit un progrès, ne changera pas grand-chose à elle seule. On peut même s'attendre à ce que la fréquence du signe [nanos] dans la liste des ingrédients ait pour effet de banaliser leur présence aux yeux d'une partie du public, comme c'est le cas pour les autres additifs. De nombreux consommateurs croiront que si les autorités permettent aux industriels d'en mettre dans les produits, c'est qu'ils ne sont pas nocifs.

Certes, les dossiers des colorants et des parfums d'ambiance cancérigènes, des veaux aux hormones, du bisphénol A, sans oublier la "vache folle", les sels d'aluminium et le mercure dans les vaccins et les plombages, par exemple, ont laissé des traces dans les mémoires. Mais beaucoup de gens sont ainsi faits qu'ils imaginent qu'on ne refera plus les mêmes erreurs. Encore plus nombreux sont ceux qui veulent maintenir leur confiance dans les "garde-fous" en pensant que c'est une croyance nécessaire pour continuer à vivre heureux. Une formule immémoriale l'exprime : "Si l'on faisait attention à tout, on ne vivrait plus." La société moderne a engendré ce sentiment et continue à l'entretenir, nous faisant déléguer à des instances supérieures la prudence et l'attention aux dangers. Le monde contemporain, en remplaçant la nature par un environnement

synthétique et en faisant croire que les risques sont ainsi écartés, tend à faire disparaître jusqu'aux réflexes dictés par l'instinct de survie. Chez toutes les autres créatures vivantes, cet instinct dicte au contraire de maintenir une attention permanente aux dangers d'où qu'ils viennent. Il suffit pour en prendre conscience d'observer n'importe quelle espèce non domestiquée par l'homme, qu'il s'agisse des mammifères, des poissons, des oiseaux ou des insectes. Dans le monde naturel, et cela depuis l'origine de la vie sur Terre, la condition même du vivant est de se soustraire aux périls qui peuvent blesser ou tuer. Les animaux s'efforcent naturellement de faire attention à tout et leur vie est menacée dès qu'ils oublient leurs prédateurs. Les oiseaux de mon jardin ne cessent de faire attention à tout, mais quand leur attention faiblit le chat du voisin bondit.

Ainsi, le problème que nous devons affronter aujourd'hui, puisque nous déléguons à autrui en grande partie cette attention, est d'obliger les autorités à protéger la population contre ses prédateurs. Et, en attendant d'y réussir, pendant que les faillites de la santé publique s'accumulent, de tenir nous-mêmes à distance ces nouveaux matériaux qui colonisent notre univers.

Ainsi, les étiquettes suffiront seulement si le consommateur est assez sensibilisé pour reposer les articles dès que la mention signalera des nanos. Or, nous en sommes désormais convaincus, ce ne sont ni les industriels ni les gouvernements qui contribueront à cette sensibilisation. Dans ce contexte, l'initiative revient à tous ceux qui peuvent porter à la connaissance du public les résultats des études sur les nanomatériaux, et de le faire dans un langage accessible à tous, loin des circonlocutions et des usages jargonnant des rapports de synthèse qui, officiellement adressés aux autorités politiques et néanmoins présentés aux médias, placent généralement le public devant des injonctions paradoxales paralysant le jugement et l'action.

Il me semble toutefois nécessaire de faire évoluer l'étiquetage des nanos pour rendre accessibles aux consommateurs les informations clés qui leur permettront de se

déterminer en pleine conscience des risques. Il est anormal que la mention [nanos] soit présentée de façon obtuse, sans la moindre information. C'est un peu comme si l'on se contentait de mettre "tabac" sur les paquets de cigarettes ou "solvant" sur des flacons à ne pas inhaler. Rappelons qu'il est aujourd'hui obligatoire, en dehors des aliments, de faire figurer une croix sur les produits nocifs et un poison mort sur ceux qui risquent d'entraîner des dommages environnementaux.

Quelques lignes d'explication seraient conformes à ce principe et d'ailleurs cohérentes avec la volonté des industriels et des autorités de distinguer les nanomatériaux selon leurs risques. Prenons l'exemple des nanotubes de carbone. L'ANSES note en conclusion de son rapport 2011-2012 à leur sujet, au regard des études *in vitro* et *in vivo* : "Ils peuvent causer du stress oxydant, de l'inflammation, des dommages à l'ADN, des dommages cellulaires (effets délétères sur la prolifération cellulaire et apoptose notamment) et des effets pathologiques à long terme (tels que la formation de granulomes, la fibrose et des mésothéliomes¹).". Puisque des vies sont en jeu, il faudrait apporter sur les produits les contenant les mentions "génétoxique" et "cancérigène". Des indications spécifiques devraient aussi figurer sur les produits contenant des nanos qui risquent de déséquilibrer des écosystèmes.

Il a fallu plus d'un demi-siècle de combats pour obtenir que les paquets de tabac – première cause de mortalité évitable dans le monde avec 4,5 millions de morts par an² – portent des indications telles que "Fumer provoque le cancer" ou "provoque des crises cardiaques et des attaques cérébrales", qui ont le mérite d'annoncer clairement que ses composants sont redoutables, même si elles ne suffisent pas à neutraliser le pouvoir addictogène de la nicotine. Il aurait été infiniment préférable que, sans attendre la comptabilité épidémiologique des malades et des morts, on ait

1. ANSES, février 2012, p. 60.

2. En France, le tabac est responsable de 76 000 décès chaque année.

annoncé plus tôt sur les paquets de tabac que ce produit était un puissant cancérigène et un obstruteur des artères.

Il serait donc précieux que la mention [nanos], qu'il s'agisse d'ailleurs de denrées alimentaires, de textiles ou de plâtre..., soit suivie par quelques mots rappelant leur toxicité.

LES RISQUES ÉCONOMIQUES DU FORCING NANOTECHNOLOGIQUE

On en parle peu, voire pas du tout, alors qu'ils sont énormes et que les effets pervers qui pourraient en découler seraient comparables à ceux qu'ont entraînés la bulle Internet ou la généralisation des emprunts toxiques. Les risques économiques pris par les investisseurs publics et privés sont démesurés. Plus les entreprises utilisant des nanos seront nombreuses et plus les remises en question seront douloureuses. L'économie elle-même s'est déjà placée dans une situation à risque en se structurant si rapidement sur le marché des nanotechnologies, les assureurs ne les suivant qu'avec beaucoup de réserve¹. S'il se révélait que les marchés se referment, pour des raisons sanitaires et environnementales, voire sous le coup d'un rejet des consommateurs, ce serait alors toute la nanobulle spéculative qui éclaterait. Les conséquences seraient ravaageuses, en termes de pertes d'emploi et de déstabilisation économique pour tous les investisseurs et toutes les entreprises qui sont entrées de gré ou de force dans les filières. Sans compter les éventuels procès en réparation, dont nous avons vu qu'ils pouvaient devenir ruineux pour les employeurs quand les victimes se mobilisent.

Pour n'en prendre que quelques exemples, que deviendraient les groupes Bayer, Arkema ou Nanocyl, ainsi que leurs employés et leurs entreprises satellites, eux qui ont tant misé sur les nanos ? Alors que les études sur la toxicité

des nanotubes de carbone étaient déjà légion et que les rapports de synthèse avaient déjà tiré la sonnette d'alarme, Nanocyl ouvrait une usine à Sambreville en Belgique, Bayer à Leverkusen en Allemagne en 2010. Et, en 2011, la société Arkema inaugurerait une unité spéciale dans son usine de Mont dans les Pyrénées-Atlantiques capable de fabriquer 400 tonnes de ces nanos par an, tout en travaillant à un système qui pourrait porter le tonnage annuel à 10 000 tonnes¹. Une production qui, en augmentant la production de nanotubes, allait tirer leur prix à la baisse et rendre possibles toutes sortes d'applications dans les secteurs de l'aéronautique, de l'automobile, de l'électronique, de l'énergie, des articles sportifs, du textile et même des soins pharmaceutiques.

La question à laquelle les entreprises doivent désormais répondre, compte tenu des études qui s'entassent sur la toxicité des nanotubes et d'autres nanos, et qui leur sera posée par leurs propres actionnaires si leurs dirigeants n'ont pas encore songé à le faire, est la suivante : ont-elles provisionné des fonds pour se prémunir contre l'impact économique qu'elles devront affronter dans l'éventualité d'un gros retour de bâton ? Certains ont gardé la cicatrice profonde de ce qui était arrivé à Rhône-Poulenc au tournant des années 2000 quand le groupe avait dû se scinder pour externaliser au sein de la firme Rhodia le coût de la dépollution de ses sites devenue obligatoire. De gros actionnaires de Rhodia y avaient laissé des fortunes.

Le problème n'est d'ailleurs pas seulement que la ruée vers les nanos place tous ces acteurs économiques dans une relation de dépendance extrême par rapport aux nanotubes, mais que les enjeux, en cas de tourmente sanitaire, pèseront sur les décisions que les élus devront prendre pour mettre en action le système de prévention et de santé publique. Notre histoire récente a vu dans quels attermoissements criminels et quels dénis les gouvernements

1. Cf. *infra*, p. 174-177.

1. Muriel de Véricourt, "Première usine française pour les nanotubes", *La Recherche*, n° 453, 31 mai 2011.

sont capables de s'enliser quand ils redoutent à la fois les conséquences économiques et judiciaires de leurs décisions sanitaires ou environnementales. Si la diffusion des nanomatériaux dans tous les espaces de notre vie quotidienne et dans nos assiettes est à l'origine de nombreux drames, quels responsables politiques seront capables de stopper le navire et ainsi d'assumer leur faute? Le passé nous enseigne que la culpabilité en matière sanitaire et environnementale n'est pas le fort des ministres ni de leurs conseillers.

COMMENT NEUTRALISER UNE MASCARADE

C'est en songeant aux conséquences économiques désastreuses d'un scénario bancal que plusieurs institutions ont insisté dans leurs rapports sur l'urgence de créer un consensus favorable dans l'opinion publique¹. Le principe d'un débat public sur les risques liés aux nanos et leur régulation, entériné lors du Grenelle de l'environnement de 2007, n'a pas eu lieu. Les tentatives de débat national organisé d'octobre à février 2010 à la demande de sept ministères² se sont heurtées à un rejet d'une ampleur exceptionnelle, les tables rondes et autres "discussions publiques" étant apparues aux auditoires le plus souvent comme de pathétiques montages destinés à les convertir.

Sur dix-sept grandes villes où il était prévu, il a été refusé dans treize villes, à l'initiative du groupe Pièces et main-d'œuvre et à la joie de nombreux observateurs estimant qu'il s'agissait en effet d'un subterfuge en décalage avec les décisions politiques. Il faut dire qu'à l'instar de la politique nucléaire, la politique des nanotechnologies a été définie au mépris complet de la démocratie. Quand d'autres associations ont préféré quitter ces "rencontres"

1. École des mines, 2004; Conseil économique et social, 2008.

2. Les ministères de l'Agriculture, de la Défense, de l'Écologie, de l'Économie et de l'Industrie, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, de la Santé et du Travail.

ou ne pas s'y rendre pour ne pas cautionner la moindre illusion de débat public, Pièces et main-d'œuvre a réussi à démontrer qu'il était possible d'être plus efficace en neutralisant complètement la mise en scène. La technique est on ne peut plus simple : être présent avec des sifflets couvrant les prises de parole.

Pour l'anecdote, Bernadette Bensaude-Vincent rapporte que lors des "rencontres" suivantes, des vigiles ont obligé le public à se laisser fouiller pour vérifier que personne n'avait de sifflet, mais qu'il a suffi à l'auditoire de faire du bruit avec ses mains et ses pieds pour empêcher la réunion¹. Qu'on soit d'accord ou non avec leur action, ils ont montré que de simples citoyens pouvaient court-circuiter une opération de propagande d'ampleur nationale avec des moyens élémentaires.

L'association AVICENN a résumé, sur son site veillenanos.fr, la manière dont le gouvernement avait tenté de sortir la "tête haute" de cet échec :

Il a fallu de multiples interventions pour que le gouvernement mette fin à son silence un an et demi plus tard : un communiqué interministériel présentant les "engagements" du gouvernement (le dernier gouvernement Fillon) sur les suites à apporter au débat a été établi le 27 octobre 2011 ; il a fallu attendre encore trois mois et demi pour qu'il soit communiqué à la CNDP, dans un courrier daté du 13 février 2012. (...) Le préambule du communiqué indique que les attentes et demandes de la société française "ont été entendues par le gouvernement". Les "engagements" du gouvernement qui ont été déclinés en trois rubriques – mieux apprécier et prévenir les risques ; informer le public (*via* notamment un portail d'informations nano.gouv.fr) ; associer la société civile à la gouvernance

1. Intervention de Bernadette Bensaude-Vincent au séminaire 2012-2013, *Changements institutionnels, risques et vulnérabilités sociales*, sur le thème "Nanotechnologies : un défi technique et politique", université de Caen-Basse-Normandie.

des nanotechnologies – et répondent en effet à de nombreux vœux formulés par la majorité des acteurs qui ont participé au débat national.

Ces engagements ont été pris en février 2012, soit quatre mois avant l'élection présidentielle et le changement de majorité. Comment le nouveau gouvernement Ayrault s'empare-t-il de la question ? Alors que les nanotechnologies figurent parmi les priorités d'Arnaud Montebourg et de Louis Gallois, quelle stratégie est mise en place ou encouragée par le gouvernement afin de mieux connaître, minimiser et/ou prévenir les risques qui y sont associés ? De mieux informer le public et de mieux associer la société civile à la gouvernance des nanotechnologies ? Où en est le groupe de travail interministériel baptisé "task-force nano" censé animer ces travaux ?

On peut craindre, comme le suggère AVICENN, que les choses traînent encore...

LES ASSUREURS PRESSENTENT LE GOUFFRE

Une excellente méthode pour ne pas être dupe consiste à regarder de près la réaction des assureurs aux nanotechnologies. Sous l'impulsion du PDG d'Axa, Henri de Castries, soucieux de se prémunir contre les désordres économiques que pourraient provoquer les risques liés aux nanos, l'assureur a mis en place une veille sur le dossier, qu'il regarde avec beaucoup de méfiance. Ses experts jugent en effet les nanotechnologies difficilement assurables au plan sanitaire et environnemental. Il est instructif de voir cette grande multinationale de l'assurance renâcler devant ce domaine, son métier étant précisément d'évaluer le risque avec le plus grand sérieux, en examinant avec attention l'état des connaissances sur leur toxicité. Inutile de préciser que les équipes de l'assureur chargées de cette évaluation du risque ne forgent pas leur appréciation sur les formules rhétoriques des lobbyistes industriels destinées à rassurer

l'opinion. Les nanomatériaux intimident beaucoup plus cette puissante compagnie que le sida lui-même, devenu un risque assurable.

Et Axa n'est pas le seul. Le groupe Zurich et le Lloyd's se méfient également des nanotechnologies au regard des expertises toxicologiques. En fait, les assureurs aimeraient que les États investissent leurs propres fonds dans la couverture de ce risque... Ils conservent le souvenir cruel des crises sanitaires qui ont ruiné certains d'entre eux au cours des dernières décennies. Ce fut le cas avec les ravages de l'amiante, qui sont à l'origine d'une série de faillites dans leurs rangs. Le Lloyd's, l'un des géants de la réassurance (assureur des assurances), aurait coulé pendant les années 1990 si le gouvernement britannique ne l'avait pas rattrapé par les cheveux et autorisé exceptionnellement à étanchéiser les dépenses liées à cette affaire en les isolant du groupe.

Le rapport du Lloyd's sur les nanotechnologies les place dans le peloton de tête des pires menaces : "Les risques de la nanotechnologie se situent à un très haut niveau parmi les risques émergents les plus graves du Lloyd's¹." Il le met au même rang que les catastrophes qui pourraient être provoquées par le changement climatique. Concernant la promesse des promoteurs des nanos disant que c'est la solution d'avenir pour réduire la pollution chimique en remplaçant les substances classiques par des nanomatériaux, les experts de l'assureur doutent qu'il soit pertinent de "vouloir résoudre ce problème en le remplaçant par un autre, à savoir placer une grande quantité de nanoparticules dont on ne connaît pas les effets dans l'environnement²". Ils marquent même une sérieuse réserve : "On peut s'interroger sur l'incidence qu'auront ces particules sur l'écosystème microbien. Le fer peut être utile pour éliminer des contaminants mais il peut aussi être mortel pour les cellules et les micro-organismes, et une

1. Rapport Lloyd's, 2007, p. 6.

2. *Ibid.*, p. 17.

étude récente a constaté que des nanoparticules de fer sont toxiques pour les cellules neuronales. Les micro-organismes sont essentiels pour la santé des sols car ils recyclent les nutriments en décomposant la matière morte. L'usage du fer [nanos] dans les procédés d'assainissement peut se révéler trop puissant et endommager les micro-organismes au point de bouleverser l'écosystème, d'avoir un effet domino et d'entraîner des dommages sur la vie végétale et animale."

La suite du rapport aide à réfléchir sur les risques que les acteurs des nanotechnologies sont prêts à nous faire courir – alors qu'il en va de notre santé –, pendant qu'un leader de la réassurance estime que c'est un risque terriblement élevé pour ses fonds! Pour calculer ses risques de coûts financiers, il dresse un petit inventaire des catastrophes spécifiques qu'il ne peut exclure :

- pollution par une unité de production de nanoparticules;
- maladie chronique des travailleurs dans la filière de production;
- accumulation de nanoparticules dans l'environnement liée à la lixiviation des produits;
- rappel de produits en raison de recherches indiquant que le produit est dangereux;
- plaintes mettant en cause la responsabilité des administrateurs et des dirigeants de l'entreprise dont le produit mis en cause a été vendu aux consommateurs.

Chacun de ces scénarios peut imposer à l'assureur de couvrir :

- les coûts de décontamination des sols et de l'eau;
- les frais médicaux liés au traitement des personnes exposées;
- des contentieux lancés par les actionnaires et des groupes environnementaux directement touchés;
- des réparations financières des victimes parmi les salariés;
- les indemnisations des autres personnes touchées;

- l'arrêt de l'activité du site industriel;
- le coût du rappel des produits¹.

L'assureur observe finalement qu'"il peut y avoir des impacts à court, moyen et long terme car celui-ci peut prendre de nombreuses années à émerger et être clarifié". Enfin, il regrette le "vide de la réglementation dans ce domaine. Cela est dû en partie au fait que certains intervenants ne croient pas qu'elle soit nécessaire." Il note que "l'absence de réglementation n'est jamais une bonne chose pour les assureurs en responsabilité civile" et qu'ils "devraient faire pression pour plus de clarté".

Ce rapport sera lu attentivement par les clients du Lloyd's et parions que les assureurs ne seront pas vraiment rassurés. Certains estimeront que les risques liés aux nanos sont tout simplement incalculables et qu'on ne peut assurer ce qui échappe à ce point aux calculs.

TRANSHUMANITÉ ET PHILOSOPHIE DE LA CONFUSION

On ne peut aborder les dangers des nanotechnologies sans évoquer les conséquences insidieuses de l'intrusion volontaire des nanos dans l'organisme pour accroître les performances biologiques et physiologiques du corps, repousser le vieillissement, etc. Cette intrusion pose non seulement le problème de la toxicité propre aux nanos en termes d'"effets secondaires" physiques mais aussi des problèmes touchant à l'intégrité psychique et intellectuelle des personnes, à l'être humain en tant qu'être sensible et conscient.

William Bainbridge, sociologue des idéologies et des religions, membre de la National Science Foundation, redouble d'efforts pour vaincre les résistances de l'opinion à l'idée des transformations que les nanotechnologies pourraient

1. *Ibid.*, p. 23.

apporter pour “améliorer” nos performances. Il s’appuie sur une doctrine développée durant les années 1980 en Californie, le “transhumanisme”. En 2006, lors d’une conférence multivision organisée par l’université d’Helsinki, le sociologue américain s’efforçait de promouvoir ses vues philosophiques en ces termes : “À mon avis, le transhumanisme n’est pas vraiment un choix mais une nécessité. Si nous n’évoluons pas, nous allons régresser, devenir des sous-hommes plutôt que des surhommes.”

Ces paroles avec lesquelles William Bainbridge prétend porter ses convictions philosophiques versent dans le ridicule, voire dans des considérations éthiques d’une telle grossièreté qu’on serait tenté de qualifier William Bainbridge de “nanosophe”. Toutefois, on se tromperait si l’on croyait que ses arguments et ceux des transhumanistes se réduisent à ces considérations caricaturales, aisées à réfuter et sans avenir. Elles reposent en fait sur un courant d’idées déjà relativement ancien et des groupes d’intellectuels “technophiles” qui, prompts à développer des théories favorisant l’interface entre l’informatique, les sciences cognitives et les biotechnologies, préparent le futur consensus autour de l’“augmentation humaine”. Théories qui serviront à justifier les nanotechnologies quand ces dernières commenceront à faire sentir vraiment leur impact sur les composants humains et à faire plus franchement chavirer les repères². L’un des arguments est que l’humain est une notion imprécise et que l’évolution s’est déjà chargée de modifier indéfiniment ce que l’on appelle “l’homme”, à la fois par ruptures et par processus insensibles sous le double diktat des aléas naturels et des changements culturels. Dans

1. Les livres et articles sur le sujet sont nombreux. Signalons tout de même l’enquête de Dorothée Benoit-Browaëys, *Les transhumains s’emparent des nanotechs*, accessible sur le site de Pièces et main-d’œuvre. Et le livre d’Éric Sadin, *L’Humanité augmentée*, L’Échappée, 2013.

2. En réalité, le courant transhumaniste est né avec des groupes de spécialistes de l’intelligence artificielle qui ont développé, au milieu des années 1980, des analyses du fonctionnement du cerveau en prenant pour référent les traitements informatiques.

cette vision qui souligne nos mutations pour nous définir comme des “mutants” – plutôt que de souligner les acquis de notre sensibilité et de nos idéaux –, il s’agit de franchir une nouvelle étape en devenant les créateurs et maîtres de nos prochaines mutations. Le “cyborg” intentionnel succédera ainsi au simple mutant accidentel que nous sommes à ses yeux. Nous ouvrirons l’ère de l’homme-machine pour marcher vers un surhomme ou “homme augmenté”. Kevin Warwick, dont nous avons évoqué les travaux sur l’interface homme-ordinateur¹, n’hésite pas à défendre l’idée que la compétition ne concerne pas uniquement les entreprises mais aussi les créatures que nous sommes : “Ceux qui décideront de rester humains et refuseront de s’améliorer auront un sérieux handicap².” Auront-ils d’ailleurs le courage ou la liberté de choisir ? Ils devront alors faire face à une stigmatisation très dissuasive comme le laissent entendre les mots du cybernéticien : “Ils constitueront une sous-espèce et formeront les chimpanzés du futur.”

Alors que ces nouveaux prédicateurs visaient au début à faire rêver les hommes pour les gagner à la cause des nanos, comme Eric Drexler l’avait fait en 1986, les “progrès” qu’ils annoncent ont rapidement paru monstrueux aux personnes qui n’abandonnent pas si facilement leur discernement. La promesse d’une maîtrise complète de nos données biologiques permettant d’imposer nos fantaisies au vivant et à notre propre ADN, de nous recomposer avec toutes sortes de prothèses et de nanostructures amplifiant nos capacités, aura peut-être la vertu de provoquer un sursaut de lucidité.

Pièces et main-d’œuvre désigne l’idéologie qui se profile derrière cette tendance : “N’importe quel enfant pourrait dire à Warwick et à ses congénères que sa quête de la surhumanité par nanoprocédés aboutira à son contraire :

1. Cf. *supra*, p. 107.

2. *Libération* du 11 au 12 mai 2002. Cité par Pièces et main-d’œuvre, “Une secte derrière les nanotechnologies”, 24 avril 2004.

l'automatisation du cheptel humain. L'asservissement assisté par ordinateur et les « technologies convergentes » (nanobiotechnologies, génétique, intelligence artificielle, robotique) d'une sous-humanité technifiée. Les nanotechnologies ne donnent davantage de pouvoir qu'aux nanomaîtres : elles leur donnent le contrôle de l'immense masse des nanoserfs. Sous le terme « technique » de cyborg, c'est l'esclave, l'outil humain qui répareit¹."

Il est amusant de constater que Mihail Roco, notant l'effet contre-productif, pour ne pas dire rédhibitoire, des propos de William Bainbridge sur une partie du public, s'est empressé de le dénigrer pour son "manque de sérieux", avec les mêmes critiques que celles qu'il employait contre Drexler de concert avec Richard Smalley. "Le transhumanisme n'a pas le moindre fondement scientifique, il ne s'agit que de spéculations grotesques, tout comme les prétendues possibilités d'autoréplication des nanotechnologies. Tout cela n'a rien à voir avec nos recherches²."

Le même Mihail Roco évite de rappeler qu'en 2002 il a commis un rapport avec William Bainbridge où il ne craignait pas encore de mettre en exergue le pouvoir incroyable des nanos et l'"horizon fabuleux" qui s'ouvrait pour l'organisme humain³. Relevons aussi que le responsable de la NNI déclarait lors du premier EuroNanoForum organisé en décembre 2003 par la Communauté européenne : "Le programme américain qui associe les nano-bio-info-cognitio-socio-technologies vise à améliorer les performances humaines, ses capacités d'apprentissage comme de défense⁴."

1. *Ibid.*

2. Mihail Roco prétend aussi à présent que le transhumanisme n'est qu'un discours destiné à capter des fonds.

3. Mihail Roco et William Bainbridge, "Converging technologies for improving human performance. Nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science", National Science Foundation, juin 2002.

4. Dorothee Benoit-Browaey, "Les transhumains s'emparent des nanotech", *op. cit.*

Comme le soulignent tous ceux qui se sont penchés sur le mouvement des transhumanistes et de leurs avatars européens qui se qualifient d'"extropiens"¹, la plus grave confusion règne dans leur représentation de ce que sont la pensée et le corps, n'y voyant que calculs et fonctions. Il n'est pas vraiment étonnant que l'industrie pharmaceutique les soutienne, comme l'a relevé Dorothee Benoit-Browaey : "Celle-ci a bien entendu de gros intérêts à développer les marchés de la médecine régénérative, du dopage des facultés physiques comme intellectuelles par nanopuces ou thérapies cellulaires. Très présents dans les milieux intellectuels et éthiques parisiens, les extropiens défendent la libre disposition des corps, l'accès à tous les moyens techniques pour les manipuler. Ils ont réalisé un important lobbying auprès des députés lors de la révision des lois de bioéthique, en décembre 2003²."

DES ENNEMIS DU PRINCIPE DE PRÉCAUTION

Les lobbies industriels sont capables de tout. Pendant que se multiplient les rapports publics demandant l'application du principe de précaution pour protéger la santé de la population, des voix s'élèvent un peu partout pour critiquer ce même principe au nom de la santé économique des entreprises. On ne compte plus les *think tanks* et les cabinets de lobbying qui réclament son retrait de la législation européenne et de la Constitution française³, rejoints par une armée d'élus et de conseillers politiques.

Ce principe qui prévoit d'adopter des mesures de prudence et de procéder à des évaluations approfondies quand

1. Extropien signifie partisan de l'extropie (contraire d'entropie), qui voit dans le progrès des sciences et des technologies une solution aux grands problèmes de notre société.

2. *Ibid.*

3. Jacques Chirac l'a intégré à la Constitution en 2004 malgré le refus de nombreuses industries.

la toxicité d'un produit est sérieusement suspectée répond à une définition officielle : "Lorsque la réalisation d'un dommage, bien qu'incertaine en l'état des connaissances scientifiques, pourrait affecter de manière grave et irréversible l'environnement, les autorités publiques veillent, par application du principe de précaution et dans leurs domaines d'attributions, à la mise en œuvre de procédures d'évaluation des risques et à l'adoption de mesures provisoires et proportionnées afin de parer à la réalisation du dommage¹." C'est précisément sur cette définition très raisonnable que se fondent les rapports que nous avons évoqués pour demander son application sur les nanos. Mais les ennemis du principe n'hésitent pas à la déformer pour mieux la condamner, en disant que ce principe permet d'interdire toutes les innovations susceptibles d'engendrer des craintes irrationnelles.

Il faut savoir qu'en inscrivant ce principe dans la loi, le législateur a apporté un argument juridique aux victimes de produits toxiques et aux citoyens quand les études scientifiques justifient les inquiétudes, même si certains doutes subsistent. Autrement dit, le principe de précaution vise à mettre fin au petit jeu des industriels consistant à financer des études biaisées pour contredire les résultats des recherches et entretenir ainsi des incertitudes.

Loin de se résigner, les lobbyistes des grands groupes se sont organisés pour tenter d'obtenir son retrait. On a pu voir ainsi François Ewald, l'un des conseillers influents des grandes compagnies d'assurance, fonder en 2006 l'Observatoire du principe de précaution, pour le pourfendre en prédisant qu'il allait littéralement paralyser notre économie, voire tuer l'inventivité de notre industrie. La mission de cet "observatoire" se présentant comme indépendant s'éclaire sensiblement quand on sait qu'il a été lancé par l'Institut de l'entreprise, une fondation dirigée par les patrons des entreprises du CAC 40.

1. Constitution de la V^e République, article 5 de la Charte de l'environnement, 2004.

En octobre 2007, le premier rapport de la commission Attali "pour la libération de la croissance française", mise en place par Nicolas Sarkozy dès son installation à l'Élysée, déclarait que le principe de précaution créerait "des incertitudes juridiques et instaure un contexte préjudiciable à l'innovation et à la croissance, en raison des risques de contentieux en responsabilité à l'encontre des entreprises les plus innovantes devant les tribunaux de l'ordre judiciaire¹". Notons au passage que le nom de Jacques Attali qui présidait cette commission cachait un peu la forêt puisqu'on y retrouvait Claude Bébear, ancien patron d'Axa, Anne Lauvergeon, alors présidente d'Areva, les dirigeants de Nestlé, Essilor, Accor, Crédit Agricole, Barclays, Omea Telecom, PSA-Peugeot et des militants libéraux de l'UMP et du MEDEF.

La mobilisation contre le principe de précaution n'a pas cessé de s'amplifier depuis, y compris dans les instances de l'Union européenne. Certains *think tanks*, tel l'Institut économique Molinari, très actif auprès de la Commission européenne, martèlent que ce principe est d'"inspiration communiste" et qu'il va conduire au recul de la recherche et à la faillite des entreprises qui ne parviendront pas à assurer un "risque zéro". Un vaste réseau international de membres de *think tanks* libéraux publie régulièrement des éditoriaux dans la presse européenne pour décliner ce discours sur tous les tons et pour répéter que "l'esprit du principe de précaution" tuera les prochaines découvertes comme il a tué les OGM. Liberté chérie, une fédération de *think tanks*, a ainsi développé des partenariats avec des fondations et des organismes dans toute l'Europe, par exemple l'institut Turgot, les Cercles libéraux, l'ALEPS, le Lisbon Council, l'Institut économique Molinari, le Hayek Institute en Autriche, le Cato Institute, l'ISIL et l'American Enterprise Institute. Liberté chérie organise de grands raouts avec des élus pour les sensibiliser à ses combats, aussi

1. *Rapport de la Commission pour la libération de la croissance française*, sous la présidence de Jacques Attali, 15 octobre 2007, p. 91-92.

bien contre l'impôt sur la fortune (ISF) que pour relancer les biotechnologies ou faire condamner plus lourdement les arracheurs d'OGM.

Il est particulièrement effarant de voir l'Académie des sciences suivre le mouvement. Elle dénonce le principe de précaution comme une résurgence irrationnelle : elle y voit le "spectre de l'obscurantisme". Dès 2003 elle a fait du lobbying contre le projet de constitutionnalisation du principe : "L'Académie des sciences recommande que le principe de précaution ne soit pas inscrit dans des textes à valeur constitutionnelle ou dans une loi organique, car il pourrait induire des effets pervers, susceptibles d'avoir des conséquences désastreuses sur les progrès futurs de notre bien-être, de notre santé et de notre environnement¹."

Un réseau de parlementaires s'est également développé pour le faire disparaître. Jean-Pierre Chevènement, proche du CEA et d'Areva, ne perd pas une occasion de le critiquer, tout comme son *think tank* préféré, *Res publica*, qui fournit aux élus des arguments sur différents sujets, notamment sur le nucléaire. En 2009, Bernard Accoyer (UMP), alors président de l'Assemblée nationale, a remis au gouvernement un rapport guerroyant contre le principe de précaution en lui reprochant de favoriser "l'immobilisme et la passivité". En 2012, il récidivait en faisant adopter par les députés une résolution demandant une limitation du principe de précaution et la création d'un organisme qui centraliserait et expertiserait la légitimité des recours au principe².

De son côté, Claude Allègre, l'ancien ministre de l'enseignement et de la recherche, a créé en 2010 Écologie d'avenir, un club qui fustige lui aussi le principe de précaution. Il réunit de nombreux membres de l'Académie des sciences, des capitaines de l'industrie et "toutes les

1. "Charte de l'environnement. Conclusion et recommandations", texte adopté par l'Académie des sciences le 18 mars 2003.

2. Session ordinaire de 2011-2012, 1^{er} février 2012, résolution sur la mise en œuvre du principe de précaution, n° 4008.

personnes concernées par les sciences de la chimie et leurs applications" sous le mot d'ordre : "Seuls les progrès de la connaissance et les innovations techniques permettront de résoudre les problèmes qui se posent à la planète."

Il ne faut pas sous-estimer ce vaste mouvement de lobbying qui, en grandissant, risque de détruire le principe qui doit permettre d'imposer aux industries recourant aux nanotechnologies les règles minimum de prévention.

QUELQUES RÉFLEXES POUR RÉDUIRE LES EXPOSITIONS

Si votre premier réflexe est d'éviter d'acheter des produits contenant des nanos, reste à savoir comment les repérer. En France, l'affichage devrait devenir obligatoire en 2014 pour les aliments, puis pour les cosmétiques. La mention [nanos] apparaîtra dans la liste des ingrédients.

Par ailleurs, plusieurs sites Web donnent déjà le nom et la marque d'une longue liste de produits qui en contiennent. Ces listes ne sont pas exhaustives mais elles permettent d'identifier une grande partie des articles concernés. Ces sites sont référencés sur veillenanos.fr.

Face à la multiplication des denrées alimentaires intégrant des nanos, et faute de pouvoir toujours prendre le temps de vérifier sur les sites Web, vous pouvez adopter le principe général consistant à éviter de consommer des aliments industrialisés, *a fortiori* s'il s'agit de plats préparés en usine.

Il est bon de savoir que le sel gris et humide (sel de Guérande ou de Noirmoutier, par exemple) ne contient pas de nanos, contrairement au sel blanc qui, en général, peut contenir des nanosilices ou du nano-aluminium destinés à les maintenir pulvérulents et secs.

Pour les textiles, ceux qui affichent des performances exceptionnelles (antibactériens, indéchirables, inusables, infroissables, hydrofuges...) sont bien sûr les plus susceptibles de contenir des nanos.

Évitez absolument de poncer, gratter ou percer des matériaux dont vous pouvez craindre qu'ils contiennent des nanoparticules. Les études sur les émissions de nanos par des objets contenant des nanomatériaux (en particulier tubes de carbone, nano-argent et nanoparticules d'oxyde de zinc) révèlent en effet que leur surface soumise à un ponçage ou au perçage peut provoquer une émission significative de nanos.

Si, pour une raison quelconque (bricolage, casse, usure...), un matériau contenant des nanos donne lieu à des poussières, mouillez celles-ci avant de les ramasser et de les jeter dans un sac plastique que vous fermerez soigneusement. De manière générale, si des travaux sont réalisés sur ces matériaux, il faut "travailler au mouillé", c'est-à-dire en mouillant bien les endroits qui vont subir des agressions (scie, disqueuse, marteau...) et donc susceptibles d'émettre des poussières.

De façon générale, quels que soient les articles que vous achetez (vêtements, aliments, cosmétiques, produits d'entretien, meubles, peintures, jouets...), les matériaux et les produits traditionnels, c'est-à-dire ceux qui ne présentent pas de performances innovantes, sont par définition ceux qui échappent le plus aux nanos.

Il est important aussi de suivre l'actualité de la réglementation, l'arrivée de nouveaux produits contenant des nanos et les opérations de lobbying menées par les industriels. Une liste des sites qui en rendent compte avec plus ou moins de régularité figure dans les annexes.

Avoir un œil sur les évolutions des recherches permet également de maintenir sa vigilance. Aujourd'hui, il est à la portée de chacun d'entre nous de lire directement les études que publient les toxicologues et les épidémiologistes pour forger ses propres convictions concernant la nocivité des molécules mises sur le marché et celle des nanos en particulier. Leur compréhension n'est pas d'une telle difficulté qu'elle exigerait une formation professionnelle, d'autant qu'au fil des lectures on la perfectionne rapidement. Les documents de "seconde main" tels que les rapports de

synthèse passant en revue des études sélectionnées peuvent apporter une aide dans les premiers temps, mais ils ne prennent pas toujours en compte les publications scientifiques les plus dérangeantes et l'on devient vite capable d'accéder directement à l'analyse des études elles-mêmes. Cette démarche est la condition incontournable d'une véritable démocratie sanitaire.

Enfin, l'opposition radicale de Pièces et main-d'œuvre ouvre la perspective d'une démarche citoyenne qui marque son refus de choix technoscientifiques qui, malgré l'ampleur de leurs conséquences pour l'ensemble de la société, imposent le diktat d'acteurs économiques et politiques. Alors que les nanos impliquent des transformations fondamentales dans tous les secteurs de notre vie et mettent en jeu nos libertés et nos repères éthiques les plus essentiels, il est crucial que les citoyens imposent un veto aux décisions antidémocratiques. Ce veto passera à l'évidence par nos propres mobilisations individuelles et collectives, au-delà du pouvoir décisif de nos achats.

La lecture des études scientifiques sur la toxicité des nanos confirme que la politique des nanotechnologies s'est imposée sans prendre en considération la mortalité et les maladies qui risquaient d'en découler. Ce constat ne peut que confirmer, s'il était besoin, la nécessité d'un refus citoyen de la politique des nanos. Ou, pour le dire encore plus clairement, l'urgence d'un rejet des nanos. Si la question doit se poser d'une sélection entre les bonnes et les mauvaises applications nanotechnologiques, cette sélection ne saurait se passer d'une véritable démocratie sanitaire et d'un développement des expertises citoyennes.

GLOSSAIRE

Bottom-up (de bas en haut) : création de nanoparticules en procédant par l'assemblage des atomes un à un. S'oppose à la démarche de haut en bas qui produit des nanoparticules par des méthodes de division de la matière.

Cellules endothéliales : cellules tapissant les parois internes des vaisseaux sanguins.

Glu grise (ou "gelée grise") : menace d'une invasion des nanos par autoréplication. Ce danger évoqué par Eric Drexler dans *Engins de création*, et régulièrement cité par toutes sortes d'observateurs, fait l'objet de débats sur sa possibilité. En l'état actuel des procédés nanotechnologiques, les ingénieurs affirment qu'il ne peut pas arriver. Mais l'évolution des nanotechnologies est telle que cette crainte devrait légitimement continuer de grandir, notamment avec les travaux s'efforçant de coupler les nanos et les éléments constitutifs du vivant.

In vitro : études sur des cellules animales ou humaines, sur des tissus vivants ou des organes.

In vivo : études sur des organismes animaux ou humains entiers.

Nano-échelle : gamme de taille allant environ de 1 nm à 100 nm (1 nm = 1 milliardième de mètre). Les lobbies industriels ont réussi à fixer une convention qui exclut de la catégorie des

nanos les particules qui dépassent 100 nm, mais des spécialistes demandent qu'on fasse entrer dans cette catégorie les particules allant jusqu'à 300 nm car les propriétés singulières des nanos en termes de toxicité peuvent être constatées aussi à cette échelle.

Nano-écotechnologie : domaine de l'ingénierie nanotechnologique s'appliquant à la production de nanos ayant une visée concernant les écosystèmes.

Nano-écotoxicologie : toxicologie appliquée à l'évaluation des impacts des nanos sur les écosystèmes.

Nano-électronique : nanotechnologies appliquées à l'électronique.

Nanofibres, nanotubes, nanofilaments ou nanobâtonnets : nano-objets dont deux dimensions externes sont à la nano-échelle, et dont la troisième est nettement plus grande.

Nanofilms, nanocouches ou nanorevêtements : nano-objets dont une dimension est à l'échelle nano, et dont les deux autres dimensions sont nettement plus grandes.

Nanomatériaux : matériaux composés en partie ou totalement de nanoparticules ou nano-objets qui leur confèrent des propriétés accentuées ou apportées par leur dimension nanométrique. Ils sont constitués de particules libres ou stabilisées, sous forme de cristaux, de fibres, de lamelles, de tubes... Le règlement européen n° 1223/2009 (remplaçant l'ancienne directive depuis le 11 juillet 2013) définit un nanomatériau comme "un matériau insoluble ou biopersistant, fabriqué intentionnellement et se caractérisant par une ou plusieurs dimensions externes, ou une structure interne, sur une échelle de 1 à 100 nm". Mais, sous l'influence des industriels, un nouveau projet de convention définit le nanomatériau comme "un matériau naturel, formé accidentellement ou manufacturé contenant des particules libres, sous forme d'agrégat ou sous forme d'agglomérat, dont au moins 50 % des particules

[c'est moi qui souligne], dans la répartition numérique par taille, présentent une ou plusieurs dimensions externes se situant entre 1 nm et 100 nm". Cette définition vise à exclure de la prévention les nanomatériaux n'atteignant pas 50 % de nanoparticules.

Nano-objet : élément dont une, deux ou trois dimensions sont à la nano-échelle.

Nanoparticules : particules dont une dimension est nanométrique. Par convention, on distingue aujourd'hui les nanoparticules des particules ultrafines (qui sont aussi de dimension nanométrique) : les premières sont produites de façon intentionnelle, alors que les secondes sont soit accidentelles (pollutions industrielles surtout), soit naturelles (volcans, incendies de forêts).

Nanoscience : ensemble des recherches ayant pour objet la synthèse et l'étude des nano-objets, ainsi que l'invention des méthodes permettant de composer des nanomatériaux et des méthodes d'organisation qui permettront d'aboutir à ces matériaux.

Nanotechnologies : les nanotechnologies recouvrent l'ensemble des techniques, outils et procédés qui permettent de manipuler la matière à une échelle fixée par convention en dessous de 100 nm, d'inventer atome par atome de nouvelles molécules (démarche "ascendante") ou d'obtenir des nanomatériaux par des procédés de division ou d'abrasion, et d'exploiter leurs propriétés en vue de nouvelles applications. Le mot "nanotechnologies" est souvent employé aussi pour désigner l'élaboration de nouveaux matériaux et composants toujours plus petits.

Nanotoxicologie : études toxicologiques évaluant l'impact des nanos sur les organismes vivants, pour identifier et comprendre leur toxicité pour les animaux et l'homme.

Particules ultrafines (Pufs) : particules produites de façon non intentionnelle, dont le diamètre est inférieur à 100 nm. Elles sont issues soit de sources naturelles (feux de forêt, volcans...), soit d'activités humaines (pollutions industrielles et/ou individuelles telles que Pufs de diesel issues des transports routiers, Pufs de métaux issues de la sidérurgie et des incinérateurs, Pufs organiques provenant de la plasturgie, Pufs de l'industrie de la chimie et des usages de pesticides, rejets des installations de chauffage, soudage, fumées de tabac...). L'état des connaissances toxicologiques et épidémiologiques sur les Pufs, en particulier leurs propriétés délétères et leur capacité d'intrusion à travers les barrières organiques, dont celle du cerveau où elles causent de nombreux dommages, aurait dû justifier des mesures de prévention immédiates.

Top-down (de haut en bas) : création de nanoparticules en procédant par division de la matière. S'oppose à la démarche de bas en haut qui produit des nanoparticules par l'assemblage des atomes un à un.

PRODUITS INDUSTRIELS SOUVENT CHARGÉS DE NANOPARTICULES

N.B. En absence de réglementation pour l'affichage, nous ne pouvons donner une liste complète. Il s'agit ici d'exemples indicatifs trouvés par recoupement d'informations concernant l'utilisation la plus fréquente des nanos par l'industrie.

R. L.

Aliments

Barres de chocolat (*nanodioxyde de titane*)
 Biscuits (*nanodioxyde de titane*)
 Biscuits donuts (*nanodioxyde de titane*)
 Boissons (*nano-aluminium, nano-argent, nanomicelles, nanodioxyde de zinc, nanoplatine, nanozéolithe*)
 Boissons à la framboise (*nanodioxyde de titane*)
 Boissons chocolatées (*nanodioxyde de titane*)
 Bonbons à la menthe (*nanodioxyde de titane*)
 Bonbons au chocolat (*nanodioxyde de titane*)
 Bonbons aux cacahuètes (*nanodioxyde de titane*)
 Bière en bouteille (*nano-argent*)
 Céréales (*nanodioxyde de titane*)
 Charcuteries (*nano-argent*)
 Chewing-gum (*nanodioxyde de titane*)
 Chocolat en poudre (*nanosilice*)
 Cookies (*nanodioxyde de titane*)
 Crackers (*nanodioxyde de titane*)
 Crèmes (*nano-argent*)

Crèmes à café (*nanodioxyde de titane*)
 Crèmes de noix de coco (*nanodioxyde de titane*)
 Crèmes fouettées (*nanodioxyde de titane*)
 Eau en bouteille (*nano-argent*)
 Emballages alimentaires (*nano-amidon ou nanosphères de biopolymères, nano-argile, nanopentaoxyde d'antimoine*)
 Emballages de boissons (*nano-argent*)
 Flacons (*nano-argile*)
 Fromages (*nanodioxyde de titane*)
 Glaces (*nanosilice*)
 Guimauves
 Lait d'amande (*nanodioxyde de titane*)
 Lait de riz (*nanodioxyde de titane*)
 Lait de soja (*nanodioxyde de titane*)
 Lait en bouteille (*nanodioxyde de titane*)
 Limonades (*nanodioxyde de titane*)
 Mayonnaises (*nanodioxyde de titane*)
 Papier aluminium (*nanocarbone*)
 Pâtes préparées (*nanodioxyde de titane*)
 Pâtisseries industrielles (*nano-argent*)
 Pop-corn (*nanodioxyde de titane*)
 Pouding à la banane (*nanodioxyde de titane*)
 Pouding à la vanille (*nanodioxyde de titane*)
 Purées (*nanodioxyde de titane*)
 Récipients de stockage pour les aliments (*nano-argent*)
 Riz (*nanodioxyde de titane*)
 Sacs plastique de conservation des aliments (*nano-argent*)
 Salades (*nano-argent*)
 Sandwichs préparés (*nanodioxyde de titane*)
 Sauces (*nano-argent*)
 Sauces à base de fromage (*nanodioxyde de titane*)
 Sirops (*nanodioxyde de titane*)
 Sucres (*nanosilice*)
 Thés (*nanosélénium*)
 Yaourts grecs (*nanodioxyde de titane*)

Animaux (chats et chiens)

Coussins (*nano-argent*)
 Gamelles (*nano-argent*)
 Jouets (*nano-argent*)
 Préparation alimentaire (*nano-argent*)
 Shampoings (*nano-argent*)
 Spray (*nano-argent*)

Articles de sport

Balles de golf (*nanodioxyde de titane, nanotubes de carbone*)
 Battes de baseball (*nanotubes de carbone*)
 Boules de bowling (*nanocarbone*)
 Cannes à pêche (*nanotitane, nanotubes de carbone*)
 Chaussures (*nanotubes de carbone*)
 Combinaisons (*nanodioxyde de silice*)
 Composant d'acier inoxydable pour divers articles (*nanofér*)
 Composants vélo (*nanocarbone, nano-oxyde d'aluminium, nanotubes de carbone*)
 Crosses de hockey (*nanotubes de carbone*)
 Gants de tir (*nano-argent*)
 Kimonos de sport (*nano-argent*)
 Gilets (*nanotubes de carbone*)
 Planche de surf (*nanotitane*)
 Pneus (*nanocarbone, nanotubes de carbone*)
 Raquettes de badminton (*nanocarbone, nanodioxyde de silice, nanodioxyde de titane, nanofullerène, nanographène, nanographite, nanomagnésium, nanotitane, nanotubes de carbone*)
 Raquettes de golf (*nanocarbone, nanofér, nanotitane*)
 Raquettes de squash (*nanodioxyde de silice*)
 Raquettes de tennis (*nanocarbone, nanodioxyde de silice, nanotubes de carbone*)
 Raquettes de tennis de table (*nanotubes de carbone*)
 Semelles (*nanocarbone*)
 Imperméabilisants (*nanodioxyde de titane*)
 Snowboards (*nanographite*)

Automobile

Additifs pour carburant diesel (*nano-oxyde de cérium*)
 Composants (*nanotubes de carbone*)
 Composants pour les pneus (*nanodioxyde de silice*)
 Huiles moteur (*nano-or*)
 Liquides de refroidissement (*nano-oxyde de zinc*)
 Lubrifiants automobiles (*nanodisulfure de tungstène*)
 Produits d'entretien et de nettoyage (*nanodioxyde de silice, nanodioxyde de titane, nano-or*)
 Spray et vernis contre les égratignures et les traces de frottement (*nanocire de carnauba*)
 Voitures (*nano-argile*)

Bébés/enfants

Anneaux de dentition (*nano-argent*)
 Biberons (*nano-argent*)
 Récipients pour les liquides (*nano-argent*)
 Couvertures pour bébé (*nano-argent*)
 Gilets (*nano-argent*)
 Jouets (*nano-argent, nanotubes de carbone*)
 Poussettes (*nano-argent*)
 Scratch vestimentaire (*nano-argent*), vestes réfléchissantes (*nano-argent*)

Compléments alimentaires

Antioxydants (*nanosilice, produits nano-organiques*)
 Antivieillessement (*nanocuiivre*)
 Apports en curcuma (*nanocellulose*)
 Compléments diététiques (*nanocobalt*)
 Compléments pour les articulations (*nanocellulose*)
 Compléments cardio (*nanocobalt, produits nano-organiques*)
 Compléments minéraux (*nanocuiivre, nanodioxyde de silice, nanosilice*)

Complexes de vitamines (*nanocalcium, nanomagnesium, produits nano-organiques*)
 Compléments pour le renforcement du système immunitaire (*nanodioxyde de silice, nano-oxyde de zinc, produits nano-organiques*)
 Dopants musculaires (*nanocellulose*)
 Vitamines C (*nanoliposomes*)

Cosmétiques

Baumes pour les lèvres avec protection solaire (*nanodioxyde de titane, nano-oxyde de zinc*)
 Crèmes (*nanocarbone, nanodioxyde de silice, nanofullerène, nano-or, nano-oxyde de zinc, nanoplatine, nanorétinol, nanosilice, produits nano-organiques*)
 Crèmes anti-âge (*nano-argent, nanoplatine*)
 Crèmes de rasage (*nanodioxyde de titane*)
 Crèmes solaires (*nanodioxyde de silice, nanodioxyde de titane, nano-oxyde de zinc, nanoplomb*)
 Démaquillants (*nano-oxyde de zinc*)
 Lotions (*nanocellulose*)
 Lotions pour le corps (*nanodioxyde de titane, nano-oxyde de zinc*)
 Lotions contre l'acné (*nano-argent*)
 Masques (*nano-argent, nanocarbone, nanodioxyde de silice, nano-or*)
 Nettoyants (*nano-argent, nanocellulose*)
 Ombres à paupières (*nano-oxyde d'aluminium*)
 Poudres (*nanodioxyde de titane*)
 Poudres maquillantes (*nano-oxyde d'aluminium*)
 Produits pour le bain (*nano-oxyde d'aluminium*)
 Rouges à lèvres (*nano-oxyde d'aluminium*)
 Savons (*nano-argent*)
 Sérums pour les yeux (*nanorétinol*)
 Sérums raffermissants (*nanofullerène*)
 Sprays (*nano-argent, nanocuiivre*)

Divers

Armements (*nanotubes de carbone*)
 Avions (*nanotubes de carbone*)
 Batteries (*nanolithium, nanotitanate*)
 Bracelets de montre (*nano-argent*)
 Composants électroniques (*nano-oxyde de fer*)
 Filtres catalyseurs (*nanopalladium, nanoplatine, nanorhodium*)
 Hydrophobes antibrouillard : caméra, lunettes, etc. (*nanopolymère*)
 Papiers et pigments (*nano-aluminium*)
 Papier photo (*nanocéramique*)
 Revêtements optiques (*nanopolymère*)
 Systèmes d'éclairage au xénon (*nano-aluminium*)
 Supports d'enregistrement magnétique (*nano-oxyde de fer*)
 Systèmes d'éclairage (*quantum dots*)
 Systèmes de filtration (*nano-aluminium*)
 Textiles (*nanotubes de carbone*)
 Traitements de textile (*nanopolymère, nano-argent*)

Électroménager et appareils électroniques

Aspirateurs (*nano-argent*)
 Brosses à dents électroniques (*nano-argent*)
 Consoles de jeux vidéo (*nanosilice*)
 Écrans plats (*nanopolymère, nanosilice, produits nano-organiques*)
 Épilateurs (*nano-argent*)
 Fers à lisser les cheveux (*nano-argent, nanocéramique, nanofer, nanodioxyde de titane, nano-or, nanoplatine*)
 Fers à repasser le linge (*nano-argent*)
 Filtres pour aspirateurs (*nano-argent*)
 Humidificateurs (*nano-argent*)
 Lecteurs MP3 (*nanotubes de carbone*)
 Liquides de refroidissement (*nano-oxyde de zinc*)
 Machines à café (*nano-argent*)
 Machines à laver (*nano-argent*)
 Rasoirs électriques (*nano-argent*)

Réfrigérateurs (*nano-argent, nanofer*)
 Sèche-mains (*nano-argent*)
 Sèche-cheveux (*nano-argent, nanocéramique, nanodioxyde de titane, nanotitane*)
 Stérilisateur de brosse à dents (*nano-argent*)

Maison

Bidets (*nano-argent*)
 Casiers pour chaussures (*nano-argent*)
 Chiffons (*nano-argent*)
 Climatiseurs (*nano-argent, nanocarbone*)
 Coussins (*nanocéramique*)
 Couvertures (*nano-argent*)
 Couvertures polaires (*nanocarbone*)
 Cuisinières à gaz (*nanodioxyde de titane*)
 Désodorisants (*nano-argent, nanocarbone*)
 Draps (*nano-argent*)
 Filtres à air (*nano-argent, nanosilice*)
 Filtres à eau (*nano-argent, nanocéramique, nanocuiivre, nanodioxyde de titane, nolanthane*)
 Filtres catalyseurs (*nano-aluminium*)
 Gants en caoutchouc (*nano-argent*)
 Ioniseur de salle de bains (*nano-argent*)
 Lessives (*nano-argent*)
 Lingettes (*nano-argent*)
 Matelas (*nano-argent*)
 Nettoyants ménagers (*nano-argent, nanodioxyde de silice, nanodioxyde de titane, nanomicelles, nano-oxyde d'aluminium, nanosilice*)
 Objets de décoration (*nanotubes de carbone*)
 Oreillers de soutien (*nano-argent*)
 Parapluies (*nano-argent*)
 Planches à découper (*nano-argent*)
 Plaids (*nano-argent*)
 Poêles (*nanocéramique*)
 Purificateurs d'air (*nano-argent, nanodioxyde de titane, nano-or*)

Purificateurs d'eau (*nano-argent, nanolanthane*)
 Radiateurs (*nanocéramique*)
 Robinets (*nano-argent*)
 Saladiers (*nano-argent*)
 Serviettes (*nano-argent*)
 Ustensiles de cuisine (*nano-argent*)
 Verrous (*nano-argent*)

Matériaux de construction

Adhésifs et traitements de surface (*nanopolymère*)
 Bétons (*nano-argent*)
 Ciment (*nano-argent, nanodioxyde de titane*)
 Matériaux divers (*nanodioxyde de titane, nanotubes de carbone*)
 Peintures (*nano-argent, nano-argile, nanocuivre, nanodioxyde de titane, nano-oxyde de zinc*)
 Peintures antichampignons (*nano-argent*)
 Peintures antigraffitis (*nanodioxyde de silice*)
 Revêtements divers (*nano-argent, nano-argile, nanocéramique, nanodioxyde de titane, nano-oxyde de cérium, nano-oxyde de zinc*)
 Revêtements antimicrobiens (*nano-argent*)
 Verres (*nano-argent*)

Matériel informatique et portables

Câblages et gaines de câble (*nano-argile, nanotubes de carbone*)
 Cartes mémoire (*nanocobalt, nanotubes de carbone*)
 Claviers (*nano-argent, nanodioxyde de titane*)
 Composants informatiques (*nano-oxyde de fer*)
 Disques durs (*nanosilice*)
 Écrans (*nanotubes de carbone, nanosilice, produits nano-organiques*)
 Écrans plats (*nanopolymère*)
 Encres (*nano-aluminium*)
 Liquides de refroidissement (*nano-oxyde de zinc*)

Mémoire flash (*nanodioxyde de silice, nanosilice*)
 Microprocesseurs (*nanocuivre, nanosilice*)
 Ordinateurs (*nano-argent*)
 Souris (*nano-argent, nanodioxyde de titane*)
 Supports d'enregistrement optique (*nano-aluminium*)

Parapharmacie

Bouchons d'oreille en mousse (*nano-argent*)
 Brosses à dents (*nano-argent*)
 Coudières (*nanocarbone*)
 Genouillères (*nano-argent, nanocarbone*)
 Lipido-colloïde contre les brûlures (*nano-argent*)
 Pansements (*nano-argent*)
 Préservatifs (*nano-argent*)
 Protège-poignets (*nanocarbone*)
 Supports des poignets (*nano-argent*)
 Tests de grossesse (*nano-or*)

Hygiène et soin du corps

Accessoires de coiffure (*nano-argent*)
 Accessoires de maquillage (*nano-argent*)
 Brosses et peignes pour les cheveux (*nano-argent*)
 Brosses à dents doigt pour enfants (*nanosilice*)
 Dentifrices (*nano-argent, nanodioxyde de titane, nano-or, nanosilice*)
 Déodorants (*nanodioxyde de titane, nano-oxyde de zinc*)
 Hygiène buccodentaire : bains de bouche (*nanocalcium, nanomagnésium*)
 Produits pour les cheveux (*nanodioxyde de titane, nano-oxyde de zinc, nanosilice*)
 Shampoings (*nano-argent, nanodioxyde de titane*)
 Shampoings à sec (*nano-argent*)

Santé

Antifongiques (*nano-argent*)
 Composites dentaires (*nanodioxyde de silice*)
 Coussins de support pour hernies discales (*produits nano-organiques*)
 Crèmes pour le soulagement des douleurs musculaires et articulaires (*nanoliposome*)
 Prothèses bioniques du genou (*nanofer*)
 Sprays apaisants (*nanomagnésium*)
 Systèmes auditifs (*nanosilice*)

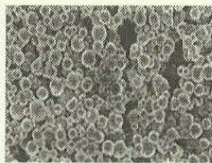
Vêtements

Chaussettes (*nano-argent, nanocarbone, nano-oxyde de zinc*)
 Chaussons (*nano-argent*)
 Chemises (*nano-argent, nanocellulose*)
 Cravates (*nano-argent*)
 Manteaux (*nano-argile*)
 Pantalons (*nano-argent, nanocarbone, nanotubes de carbone*)
 Semelles (*nano-argent, nano-oxyde de zinc*)
 Shorts (*nano-argent*)
 Sous-vêtements (*nano-argent, nanocarbone*)
 T-shirts (*nano-argent, nanocarbone*)
 Vestes (*nano-argent, nanosilice*)

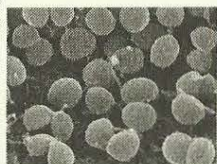
PRINCIPALES NANOPARTICULES : LEUR TOXICITÉ ET LES PRODUITS CHARGÉS

N. B. En ce qui concerne la toxicité des nanoparticules, les informations ci-dessous sont toutes étayées par les études existantes. L'absence d'indications toxicologiques pour certaines nanos ne signifie pas qu'elles sont inoffensives mais que les études manquent. Liste non exhaustive.

R. L.

NANOPARTICULES	TOXICITÉ	PRODUITS CONCERNÉS
NANO-ALUMINIUM		
 <p>Poudre de nano-aluminium</p> <p>(Voir aussi nanoparticule d'oxyde d'aluminium)</p>	Cytotoxicité (INÉRIS, 2007).	<ul style="list-style-type: none"> – Aliments (tous types) sauf frais et non industriels – Boissons – Encres – Filtres catalyseurs – Papiers et pigments – Systèmes d'éclairage au xénon – Systèmes de filtration – Supports d'enregistrement optique

NANOS POLYMÈRES



Nanoparticules de biopolymère

Les nanoparticules de polystyrène traversent la barrière gastro-intestinale et migrent dans le sang vers le foie et la rate chez les rongeurs (Jani *et al.*, 1990).



Nanofibres polymères

Les nanoparticules de polycyanoacrylate d'isobutyle de polystyrène peuvent diminuer temporairement la défense antioxydante de l'organisme chez le rat quand elles entrent dans son sang (Fernandez-Urruno *et al.*, 1997).

Encapsulé dans des nanoparticules lipidiques, le benzo(a)pyrène dissous dans l'huile de tournesol a une action mutagène sur des cellules humaines *in vitro*, tout comme le benzo(a)pyrène dissous dans le sulfoxyde de diméthyle (Leong-Morgenthaler *et al.*, 1997).

– Colles pour emballages alimentaires

– Écrans plats

– Revêtements hydrophobes :

- › Bottes
- › Imperméables
- › Gants de travail
- › Lentilles de caméra
- › Lunettes
- › Peintures antigraffiti
- › Traitements de textile
- › Tuyauterie

NANO-ARGENT



Nano-argent en fibres

Génotoxique (cassures de l'ADN), cytotoxique par stress oxydant provoquant des déformations cellulaires et une apoptose (suicide des cellules), et l'accumulation intracellulaire (AFSSET, 2010, Haut Comité de santé publique, 2010).

Soupçon de dérèglements du système immunitaire (S. W. P. Wijnhoven, 2009).

Facteur de multiplication des bactéries multirésistantes (AFSSET, 2010).

Passage chez le rat à travers les barrières pulmonaires et digestives vers le sang, distribution dans l'organisme et accumulation détectable, quoique "faible", dans le foie, les reins, la rate et le cerveau (AFSSET, 2010).

Nocif pour les micro-organismes indispensables pour le cycle de l'azote dans la terre.

– Aliments et boissons :

- › Aliments précuisinés ou cuisinés
- › Boissons alcoolisées
- › Boissons fruitées
- › Certaines eaux en bouteille
- › Charcuteries
- › Crèmes et sauces
- › Fruits de mer prélavés en sachet
- › Légumes épluchés et prélavés en sachet
- › Pâtisseries industrielles
- › Salades prélavées en sachet
- › Sodas

– Articles pour bébés et enfants :

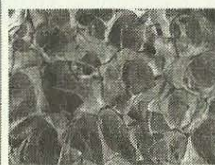
- › Anneaux à mordiller pour dentition
- › Biberons
- › Contenants pour liquides
- › Couvertures
- › Jouets
- › Poussettes
- › Scratches (fermeture des baskets, des mitaines, etc.)
- › Vêtements

– Articles pour chats et chiens :

- › Aliments
- › Couchages
- › Coussins
- › Gamelles
- › Jouets

– Articles de cuisine :

- › Filtres à eau
- › Gants en caoutchouc
- › Planches à découper
- › Récipients de stockage pour les aliments



Nano-argent pour application textile

- › Robinets
- › Sacs pour la conservation des aliments
- › Torchons
- › Poudre de prémélange alimentaire

- › Purificateurs d'eau
- › Bracelets de montre
- › Climatiseurs
- › Compléments alimentaires

– Cosmétiques et articles de toilette :

- › Crèmes (anti-âge, apaisantes, hydratantes, régénérantes...)

- › Bains de bouche
- › Brosses à cheveux et peignes

- › Brosses à dents manuelles ou électriques

- › Dentifrices

- › Fers à lisser les cheveux

- › Lotions contre l'acné

- › Lotions nettoyantes

- › Savons

- › Sèche-cheveux

- › Sèche-mains

- › Serviettes

- › Shampoings

- › Shampoings à sec

- › Sprays

- › Stériliseurs de brosse à dents

- › Accessoires de coiffure (pinces, baguettes...)

– Équipement électroménager :

- › Aspirateurs

- › Fers à repasser le linge

- › Épilateurs

- › Filtres pour aspirateurs

- › Humidificateurs



Flocons de nano-argent

- › Lave-linge
- › Lave-vaisselle
- › Machines à café
- › Machines à laver
- › Rasoirs électriques
- › Réfrigérateurs

– Emballages alimentaires

– Intérieur maison :

- › Casiers pour chaussures

- › Chiffons

- › Désodorisants

- › Bidets

- › Filtres à air

- › Ioniseurs de salle de bains

- › Lingettes

- › Moquettes

- › Purificateurs d'air

- › Tapis de fabrication non traditionnelle

- › Verrous

- › Fauteuils de pédicure

- › Parapluies

– Matériel informatique :

- › Claviers

- › Ordinateurs

- › Souris

- › Téléphones portables

– Matériaux de construction :

- › Bétons

- › Ciment

- › Matériaux de revêtements

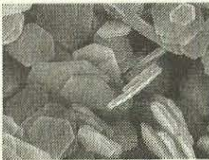
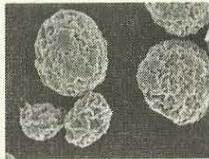
- › Métaux


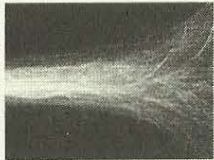
- › Peintures antifongiques

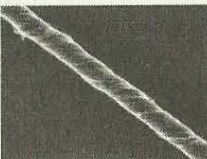
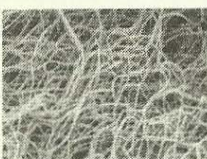

– Médicaments et leurs conditionnements


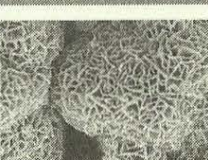
– Parapharmacie :

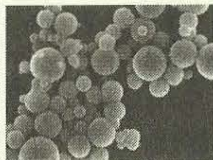

- › Bandes


		<ul style="list-style-type: none"> › Coudières › Genouillères › Lipido-colloïde contre les brûlures › Pansements › Préservatifs › Attelles <p>– Verres</p> <p>– Produits d'entretien :</p> <ul style="list-style-type: none"> › Antifongiques › Cires › Durcisseurs › Lessives › Lingettes › Nettoyants › Revêtements antibactériens › Traitements du bois › Vernis <p>– Vêtements :</p> <ul style="list-style-type: none"> › Chaussons › Chemises et pantalons › Cravates › Gants › Kimonos › Semelles › Shorts et T-shirts › Sous-vêtements › Vestes
<p>NANO-ARGILE</p> 		<p>– Bouteilles et flacons pour boissons</p> <p>– Câblages et gaines de câble</p> <p>– Emballages alimentaires</p> <p>– Peintures</p> <p>– Revêtements</p> <p>– Vêtements</p>

<p>NANOCALCIUM</p> 		<p>– Aliments (tous types) sauf frais et non industriels</p> <p>– Bains de bouche</p> <p>– Compléments alimentaires</p> <p>– Aérosols</p>
<p>NANOCARBONE</p> 	<p>Les nanoparticules de noir de carbone augmentent l'inflammation pulmonaire 10 fois plus que les particules fines de la même substance (Donaldson <i>et al.</i>, 2001).</p> <p>Les nanoparticules peu solubles de noir de carbone ou de nanotubes provoquent des fibroses, des lésions néoplasiques et des tumeurs pulmonaires chez le rat de façon plus intense pour une moindre quantité que les particules plus grosses (Borm <i>et al.</i>, 2004, Donaldson, 2005).</p> <p>Passage des nanoparticules de carbone-13 à travers les poumons et distribution dans le cerveau, le cervelet et le bulbe olfactif (Oberdörster <i>et al.</i>, 2004) et concentrations dans le foie (Oberdörster <i>et al.</i>, 2002).</p>	<p>– Armements :</p> <ul style="list-style-type: none"> › Armes › Casques › Vêtements militaires <p>– Articles de sports :</p> <ul style="list-style-type: none"> › Boules de bowling › Composants de vélos › Raquettes › Chaussures › Clubs de golf <p>– Climatiseurs</p> <p>– Cosmétiques et articles de toilette :</p> <ul style="list-style-type: none"> › Crèmes › Masques › Désodorisants <p>– Emballages alimentaires</p> <p>– Jouets</p> <p>– Matériaux de construction</p> <p>– Matériel informatique :</p> <ul style="list-style-type: none"> › Écrans › Cartes mémoire › Lecteurs MP3 <p>– Parapharmacie :</p> <ul style="list-style-type: none"> › Coudières › Genouillères › Attelles pour poignet <p>– Objets de décoration</p> <p>– Textiles :</p> <ul style="list-style-type: none"> › Chaussons › Chemises




		<ul style="list-style-type: none"> › Chaussettes › Couvertures › Pantalons › Pyjamas › Sous-vêtements › Gilets
<p>Nanotubes de carbone</p>		<ul style="list-style-type: none"> › Automobiles › Avions › Composants divers pour la motorisation › Équipements intérieurs › Pneus
NANOCELLULOSE		
	<p>La nanocellulose cristalline est reprotoxique chez certains poissons (Kovacs, 2010).</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Compléments alimentaires : <ul style="list-style-type: none"> › Dopants musculaires – Cosmétiques : <ul style="list-style-type: none"> › Lotions nettoyantes › Produits nettoyants
<p>Fibres de nanocellulose</p>		<ul style="list-style-type: none"> – Emballages alimentaires – Papiers – Peintures – Plastiques – Vernis – Vêtements de tous types
NANOCÉRAMIQUE		
	<p>Corrélation entre le cancer du côlon ou la maladie de Crohn et la présence de nanoparticules de céramique (alliages dentaires et de prothèses, polluants alimentaires et colorants au baryum) dans certaines cellules (Gatti, 2004).</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Coussins – Fers à lisser les cheveux – Filtres à eau – Papier photo – Radiateurs – Revêtements – Sèche-cheveux – Ustensiles de cuisine pour la cuisson
<p>Nanocéramique (particules)</p>		


NANOCIRE DE CARNAUBA		
	<p>Vomissement, inflammation de la peau et irritation des yeux en cas d'ingestion ou de contact (Département de sécurité sanitaire et environnementale, Aschland, 2013).</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Protection de carrosserie : <ul style="list-style-type: none"> › Vernis et aérosols pour les peintures contre les égratignures et les traces de frottement
<p>Nanocire de carnauba</p>		
NANOCOBALT		
	<p>Effets inflammatoires importants sur les monocytes de la moelle humaine (Lucarelli et al., 2004).</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Compléments alimentaires – Matériel informatique (nombreux composants)
<p>Nanoflocons de cobalt</p>		
	<p>Potentiel pro-inflammatoire et cytotoxique sur les cellules endothéliales humaines (Peters et al., 2004).</p>	
	<p>Inflammation pulmonaire importante (Zhang et al., 2000).</p>	
	<p>Les nanoparticules de cobalt-chrome (Co/Cr) sont toxiques pour les cellules du système immunitaire (histiocytes) chez l'humain (Germain et al., 2003).</p>	





NANOCUIVRE		
 <p>Nanoparticules de cuivre</p>	<p>Cytotoxicité importante (INÉRIS, 2007).</p> <p>Effets gravement toxiques avec graves lésions des reins, du foie et de la rate de souris démontrant la toxicité spécifique des nanoparticules de cuivre (Cheng <i>et al.</i>, 2006).</p> <p>Toxique <i>in vitro</i> et <i>in vivo</i> par alcalose (trouble acido-basique pouvant être grave) chez le rongeur (Meng <i>et al.</i>, 2007).</p> <p>Synergie aggravante en association avec le nano-argent.</p>	<p>– Compléments alimentaires :</p> <ul style="list-style-type: none"> › Antivieillessement › Compléments minéraux <p>– Cosmétiques</p> <p>– Filtres à eau</p> <p>– Matériel informatique (microprocesseurs)</p> <p>– Peintures</p>
NANODIOXYDE DE SILICE		
 <p>Nano-oxyde de silice</p>	<p>Classé comme cancérigène possible chez l'homme par inhalation (Centre international de recherche sur le cancer, 2006).</p> <p>Capable de remonter le long du nerf olfactif vers le cerveau (INSERM et INÉRIS, 2007).</p> <p>Cytotoxique pour les cellules de la barrière hémato-encéphalique (INSERM et INÉRIS, 2007) et interférence avec des constituants cellulaires</p>	<p>– Articles de sports :</p> <ul style="list-style-type: none"> › Combinaisons › Raquettes (badminton, tennis, squash, etc.) <p>– Automobiles :</p> <ul style="list-style-type: none"> › Composants pour les pneus › Produits d'entretien et de nettoyage <p>– Compléments alimentaires :</p> <ul style="list-style-type: none"> › Pour le renforcement du système immunitaire, › etc. <p>– Cosmétiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> › Crèmes › Masques › Crèmes solaires

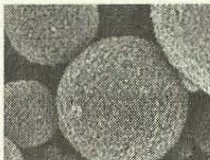

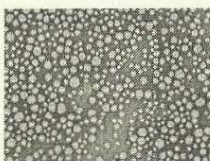
	<p>pouvant perturber la division des cellules (AFSSET, 2008).</p> <p>Effets inflammatoires importants sur les monocytes de la moelle humaine (Lucarelli <i>et al.</i>, 2004).</p> <p>Potentiel pro-inflammatoire et cytotoxique sur les cellules endothéliales humaines (Peters <i>et al.</i>, 2004).</p>	<p>– Nettoyants ménagers</p> <p>– Matériel informatique (divers composants)</p> <p>– Peintures antiraffitis</p> <p>– Composites dentaires</p>
NANODIOXYDE DE SILICIUM		
	<p>Absorption de nanoparticules dans le noyau de la cellule où elles provoquent la formation de protéines aberrantes et empêchent la croissance de la cellule. Entraînent le début d'une pathologie semblable aux désordres neurodégénératifs (Chen et von Mücke, 2005).</p>	
NANODIOXYDE DE TITANE		
 <p>Fibres de nanodioxyde de titane</p>	<p>Passage des nanoparticules de dioxyde de titane à travers les poumons (avec inflammation, obstruction, fibrose interstitielle...) vers les ganglions lymphatiques chez le rat (Oberdörster <i>et al.</i>, 1994).</p>	<p>– Aliments :</p> <ul style="list-style-type: none"> › Barres de chocolat › Biscuits industriels › Boissons végétales (amandes, chocolatées, au riz, etc.) › Boissons fruitées › Bonbons › Céréales › Chewing-gum › Cookies

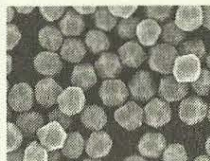
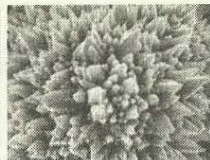
	<p>Inflammation pulmonaire 10 fois plus importante que les particules fines des mêmes substances (Donaldson <i>et al.</i>, 2001).</p> <p>Les nanoparticules peu solubles de dioxyde de titane provoquent des fibroses, des lésions néoplasiques et des tumeurs pulmonaires chez le rat de façon plus intense pour une moindre quantité que les particules plus grosses (Borm <i>et al.</i>, 2004).</p> <p>Passage des particules de dioxyde de titane à travers la peau et possibilité pour ces nanoparticules entrant dans la composition de laits solaires de se retrouver dans la couche profonde de l'épiderme en cas de coups de soleil ou de lésions cutanées (AFSSET, 2010).</p> <p>Effets inflammatoires sur les monocytes de la moelle humaine (Lucarelli <i>et al.</i>, 2004).</p> <p>Pro-inflammatoire et cytotoxique sur les cellules endothéliales humaines (Peters <i>et al.</i>, 2004).</p>	<ul style="list-style-type: none"> › Crèmes parfumées › Crèmes fouettées › Fromages industriels › Gâteaux industriels › Guimauves › Laits divers › Laits de soja › Limonades › Mayonnaises › Pâtes préparées › Pop-corn › Purées › Riz › Sandwichs préparés › Sauces › Sirops › Yaourts <p>– Articles de sports :</p> <ul style="list-style-type: none"> › Articles imperméabilisés › Balles de golf › Cannes à pêche › Planches de surf › Raquettes <p>– Automobile (produits d'entretien)</p> <p>– Cosmétiques et produits d'hygiène :</p> <ul style="list-style-type: none"> › Baumes pour les lèvres avec protection solaire › Crèmes de rasage › Crèmes solaires › Dentifrices › Déodorants › Fers à lisser les cheveux › Lotions pour le corps › Poudres › Produits pour les cheveux › Sèche-cheveux › Shampoings <p>– Intérieur de la maison :</p> <ul style="list-style-type: none"> › Cuisinières à gaz
--	--	--



 <p>Faisceaux de nanotubes de dioxyde de titane</p>	<p>Études en cours concernant l'éventuelle contribution du nanodioxyde de titane dans des dégénérescences neurologiques type Alzheimer et Parkinson (programme NeuroNano financé par l'UE).</p>	<ul style="list-style-type: none"> › Filtres à air › Matériel informatique (claviers et souris) › Nettoyants ménagers › Purificateurs d'air <p>– Matériaux de construction :</p> <ul style="list-style-type: none"> › Ciment › Revêtements › Peintures
NANODISULFURE DE TUNGSTÈNE		
 <p>Nanodisulfure de tungstène</p>		<p>– Lubrifiants pour moteurs ou de systèmes mécaniques :</p> <ul style="list-style-type: none"> › Véhicules › Appareils de bricolage
NANO FER		
 <p>Nanocristaux de fer</p> <p>(Voir aussi nano-oxyde de fer)</p>	<p>Pro-inflammatoire sur les tissus pulmonaires et y provoquant des altérations (fiche technique de l'INRS, 2009).</p> <p>Toxiques pour les neurones.</p> <p>Peut être mortel pour les cellules et les micro-organismes.</p> <p>L'utilisation du nanofer dans les stations d'épuration de l'eau peut se révéler trop puissante et endommager les micro-organismes, voire la vie végétale et animale en perturbant les écosystèmes.</p>	<p>– Articles de sports :</p> <ul style="list-style-type: none"> › Clubs de golf › Composant d'acier inoxydable pour vélos, mousquetons, etc. <p>– Fers à lisser les cheveux</p> <p>– Prothèses</p> <p>– Réfrigérateurs</p>



NANOFULLERÈNE		
 <p>Nanoparticules de fullerène</p> <p>(Voir aussi nanotubes de carbone)</p>	<p>Selon les formes, traverse la barrière placentaire chez la souris et se distribue dans tout l'embryon, provoquant mortalité et/ou malformations (Tsuchiya <i>et al.</i>, 1996).</p>	<p>– Articles de sports</p> <p>– Cosmétiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> › Crèmes › Sérums raffermissants <p>– Produits pharmaceutiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> › Crèmes antidémangeaison
	<p>Le fullerène C60 peut diminuer l'activité enzymatique hépatique du glutathion <i>in vitro</i> chez l'humain, les souris et les rats (Iwata <i>et al.</i>, 1998).</p>	<p>(Voir aussi nanocarbone)</p>
	<p>Effet mutagène <i>in vitro</i> sur 3 souches de salmonelle exposées au fullerène C60 (Sera <i>et al.</i>, 1996).</p>	
	<p>L'exposition <i>in vitro</i> au fullerène C60 (12,5 µg C60-cyclodextrin) provoque des dommages oxydatifs dans le foie du rat (Kamat <i>et al.</i>, 1998).</p> <p>Toxique pour les cellules humaines <i>in vitro</i> (fibroblastes de la peau et cellules de carcinome hépatique), démontré pour 4 fullerènes hydrosolubles (Sayes <i>et al.</i> 2004).</p>	

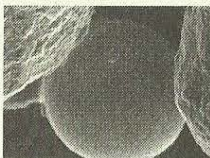

NANOGRAPHÈNE		
 <p>Nanographène</p>	<p>Destruction cellulaire par apoptose (Abhilash Sasidharan <i>et al.</i>, 2013 et Omid Akhavan <i>et al.</i>, 2013).</p>	<p>– Articles de sports</p> <p>– Batteries</p> <p>– Composants électroniques pour écrans :</p> <ul style="list-style-type: none"> › Smartphones › Ordinateurs › Télévisions
NANOGRAPHITE		
 <p>Nanographite</p>	<p>Toxicité possible par inhalation (Lan Ma-Hock <i>et al.</i>, 2013).</p>	<p>– Articles de sports :</p> <ul style="list-style-type: none"> › Raquettes › Snowboards › Skis › Cannes à pêche › Clubs de golf › Composants de vélos
NANOLANTHANE		
 <p>Nanofibres de lanthane</p>	<p>Destruction possible de la membrane cellulaire (Brabu Balusamy <i>et al.</i>, 2012).</p>	<p>– Composants d'automobiles :</p> <ul style="list-style-type: none"> › Catalyseurs de moteurs à essence › Produits fluorescents <p>– Filtration et purification de l'eau</p> <p>– Traitement des verres et lentilles anti-UV</p> <p>– Verres optiques</p>
NANOLIPOSOME		
 <p>Nanoliposome</p>		<p>– Compléments alimentaires</p> <p>– Produits pharmaceutiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> › Crèmes pour le soulagement des douleurs musculaires et articulaires › Médicaments

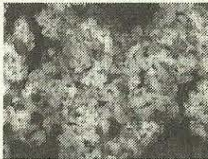

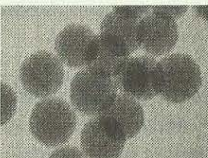
NANOLITHIUM		
	Toxicité possible pour l'homme et l'environnement (Hsing Po Kang <i>et al.</i> , 2013).	<ul style="list-style-type: none">– Agriculture– Batteries– Cosmétiques et produits d'hygiène– Matériaux de construction :<ul style="list-style-type: none">› Ciments› Plâtres– Peintures– Produits nettoyants pour sols– Revêtements– Solvants– Sylviculture
NANOMAGNÉSIUM		
	Toxicité possible (Goqiang <i>et al.</i> , 2012).	<ul style="list-style-type: none">– Aliments (tous types) sauf frais et non industriels– Articles de sports– Bains de bouche– Compléments alimentaires– Produits pharmaceutiques :<ul style="list-style-type: none">› Sprays désinfectants› Sprays apaisants› et autres
NANOMICELLES		
		<ul style="list-style-type: none">– Boissons (tous types)– Nettoyants ménagers

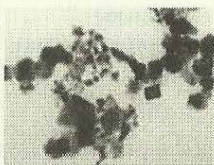
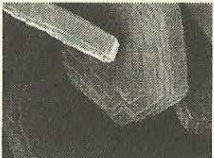
NANO-OR		
	<p>Pénétration des nanoparticules d'or à travers les intestins vers la circulation sanguine puis distribution dans le cerveau, les poumons, le cœur, les reins, le foie et la rate chez la souris (Hillyer et Albrecht, 2001) et passage dans les cellules (Hussain et al., 2001).</p> <p>Les nanoparticules d'or MMPC 1 sont toxiques pour les globules rouges humains et les cellules de primates (Goodman et al., 2004).</p>	<ul style="list-style-type: none">– Automobiles :<ul style="list-style-type: none">› Huiles moteur› Produits d'entretien– Cosmétiques :<ul style="list-style-type: none">› Crèmes› Masques– Compléments alimentaires (or colloïdal)– Dentifrices– Fers à lisser les cheveux– Purificateurs d'air– Tests de grossesse
NANO-OXYDE D'ALUMINIUM		
	<p>Capable de remonter le long du nerf olfactif vers le cerveau (INSERM et INÉRIS, 2007).</p> <p>Cytotoxicité sur les cellules de la barrière hémato-encéphalique (qui protège le cerveau), dont stress oxydant. Effet aggravé des nanos les plus petites (INSERM et INÉRIS, 2007).</p> <p>Inflammation pulmonaire 10 fois plus importante avec les nanos qu'avec les particules fines des mêmes substances (Donaldson et al., 2001).</p>	<ul style="list-style-type: none">– Aliments (tous types) sauf frais et non industriels– Composants vélo– Cosmétiques :<ul style="list-style-type: none">› Ombres à paupières› Poudres pour le visage› Produits divers pour le bain› Produits divers pour le corps› Rouges à lèvres– Nettoyants ménagers

	Les nanoparticules de 2-4 nm induisent un effet toxique plus important sur les cellules que les nanoparticules plus grandes (40-47 nm) bien que de même nature (INÉRIS, 2007).	
NANO-OXYDE DE CÉRIUM		
	Études en cours concernant l'éventuelle contribution du nano-oxyde de cérium dans des dégénérescences neurologiques type Alzheimer et Parkinson (Howard et Holster, programme NeuroNano).	<ul style="list-style-type: none"> – Additifs pour carburant diesel – Cosmétiques : <ul style="list-style-type: none"> › Crèmes solaires – Revêtements
Nano-oxyde de cérium	Toxicité cellulaire sur des daphnies (Gaiser B. et al., 2011).	
NANO-OXYDE DE FER		
	Capable de remonter le long du nerf olfactif vers le cerveau (INSERM et INÉRIS, 2007).	<ul style="list-style-type: none"> – Composants électroniques – Composants informatiques – Supports d'enregistrement magnétique
Nano-oxyde de fer	<p>Cytotoxicité sur les cellules de la barrière hémato-encéphalique (qui protège le cerveau). Effet aggravé des nanos les plus petites (INSERM et INÉRIS, 2007).</p> <p>Stress oxydant très important sur les cellules (INSERM et INÉRIS, 2007). Épaississement du sang (Wang, 2006).</p>	

NANO-OXYDE DE ZINC		
	Cytotoxicité importante (INÉRIS, 2007).	<ul style="list-style-type: none"> – Aliments (tous types) sauf frais et non industriels – Boissons – Compléments alimentaires – Cosmétiques : <ul style="list-style-type: none"> › Baumes pour les lèvres avec protection solaire › Crèmes › Démaquillants › Lotions pour le corps › Produits pour les cheveux › Crèmes solaires › Déodorants – Liquides de refroidissement (pour l'automobile, l'électronique et l'informatique) – Peintures – Revêtements – Vêtements : <ul style="list-style-type: none"> › Chaussettes › Semelles
Nano-oxyde de cristaux de zinc		
NANOPALLADIUM		
		<ul style="list-style-type: none"> – Filtres catalyseurs – Traitement et nettoyage des surfaces
Nanocubes de palladium		

NANOPENTOXYDE D'ANTIMOINE OU NANOTRIOXYDE D'ANTIMOINE		
	Toxicité du nanotrioxys de d'antimoine sur les cellules humaines progénitrices hématopoïétiques (Bregoli et al., 2009).	<ul style="list-style-type: none"> – Aliments (tous types) sauf frais et non industriels – Emballages alimentaires
Nanoparticule de pentoxyde d'antimoine		
NANOPLATINE		
	Dégradation possible de l'ADN (Yongwon Jung et al., 2007).	<ul style="list-style-type: none"> – Aliments (tous types) sauf frais et non industriels – Boissons – Cosmétiques : <ul style="list-style-type: none"> › Crèmes › Crèmes anti-âge – Fers à lisser les cheveux – Filtres catalyseurs
Nanoplatine en poudre		
NANOPLOMB		
	L'importante neurotoxicité du plomb, surtout sous la forme de poudre, aurait dû conduire à mener d'urgence des études sur le nanoplomb. Hélas, on ne dispose actuellement que d'une étude sur des crustacés. Elle établit la toxicité sur ces derniers (Hu J. et al., 2012).	<ul style="list-style-type: none"> – Crèmes solaires – Matières plastiques – Peintures – Revêtements – Solvants

NANORHODIUM		
		– Filtres catalyseurs
Nanorhodium		
NANORÉTINOL		
		<ul style="list-style-type: none"> – Cosmétiques : <ul style="list-style-type: none"> › Crèmes – Sérums pour les yeux
NANOSÉLÉNIUM		
	Retard de croissance et atteinte hépatique chez la souris (ANSES-AFSSA, 2009).	<ul style="list-style-type: none"> – Thés (certains thés pré-conditionnés) – Compléments alimentaires
Nanosélénium en cristaux		
NANOSILICE		
	Les nanoparticules de silice (SiO ₂) et de cobalt (Co) ont des effets inflammatoires importants sur les monocytes de la moelle humaine. Ils sont moindres avec les nanoparticules de TiO ₂ et de ZrO ₂ qui présentent une activité plus faible (Lucarelli et al., 2004).	<ul style="list-style-type: none"> – Aliments : <ul style="list-style-type: none"> › Chocolats en poudre › Sucres glace › Glaces › Brosses à dents – Appareils auditifs – Compléments alimentaires : <ul style="list-style-type: none"> › Antioxydants › Compléments minéraux – Cosmétiques : <ul style="list-style-type: none"> › Crèmes › Produits pour les cheveux – Dispositifs d'électroluminescence : <ul style="list-style-type: none"> › Téléphones portables › Écrans TV, etc.
Nanoparticules de silice	Pro-inflammatoire et cytotoxique sur les cellules endothéliales humaines (Peters et al., 2004).	

		<ul style="list-style-type: none"> – Filtres à air – Matériel informatique : <ul style="list-style-type: none"> › Consoles de jeux vidéo › Disques durs › Cartes mémoire › Microprocesseurs › Téléphones portables (mémoire) – Nettoyants ménagers – Vêtements (vestes)
NANOTITANATE		
		– Batteries
NANOTITANE		
		(Voir nanodioxyde de titane)
Agrégat de nanotitane		
NANOTUBES DE CARBONE		
		(Voir nanocarbone)
NANOZEOLITE		
	Possibilité d'interactions avec médicaments contenant du lithium ou du platine. Risques de déshydratation devant être compensés en buvant plus d'eau.	<ul style="list-style-type: none"> – Aliments (divers) sauf frais et non industriels – Boissons – Produits pharmaceutiques vendus comme détoxifiants
Palets de nanozéolite en poudre		
NANOZINC		
		(Voir nano-oxyde de zinc)

RESSOURCES INTERNET

<http://nanopedia.case.edu/NanoIndex.html>
<http://nanowerk.com>
<http://sciencescitoyennes.org>
<http://urlm.co/www.nanoforum.org>
www.avicenne.com
www.azonano.com/Applications.asp
www.azonano.com/Industries.asp?Letter
www.extension.harvard.edu/degrees-certificates/professional-certificates/nanotechnology-certificate
www.nano.gov/html/facts/appsprod.html
www.nanomateriaux.org
www.nanoproducts.de
www.nanoshop.com
www.nanotech-now.com
www.nanotechproject.org/cpi
www.piecesetmaindoeuvre.com
www.projets-citoyens.fr/node/136
www.veillenanos.fr
www.wilsoncenter.org/index.cfm

BIBLIOGRAPHIE

- S. ABHILASH *et al.*, "Differential nano-bio interactions and toxicity effects of pristine versus functionalized graphene", *Nanoscale*, 2011, 3, Royal Society of Chemistry, 2013.
- AFSSA, *Nanotechnologies et nanoparticules dans l'alimentation humaine et animale*, Maisons-Alfort, 2009.
- AFSSET, *Les Nanomatériaux : effets sur la santé de l'homme et sur l'environnement*, Maisons-Alfort, 2006.
- AFSSET, *Les Nanomatériaux : sécurité au travail*, Maisons-Alfort, 2008.
- AFSSET, *Les Nanomatériaux : évaluation des risques liés aux nanomatériaux pour la population générale et pour l'environnement*, Maisons-Alfort, 2010.
- R. J. AITKEN *et al.*, *Nanoparticles: an Occupational Hygiene Review*, HSE, 2004.
- ANSES, *Éléments issus des déclarations des substances à l'état nanoparticulaire*, Rapport d'étude, novembre 2013. Disponible sur www.developpement-durable.gouv.fr/document140973
- A. H. ARNALL, *Future Technologies, Today's Choice. Nanotechnology, Artificial Intelligence and Robotics: A Technical, Political and Institutional Map of Emerging Technologies*, Greenpeace Environmental Trust, Londres, 2003.
- A. BILLON *et al.*, *Le Financement des nanotechnologies et des nanosciences, l'effort des pouvoirs publics en France : comparaisons internationales*, Inspection générale de l'administration de l'Éducation nationale et de la Recherche, 2004.

- C. BIRRAUX, H. REVOL, *Les Nanotechnologies : risques potentiels, enjeux éthiques*, Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 2007.
- M. BODEGAL *et al.*, *Nanotechnology and its Implications for the Health of the UE Citizen*, Mark Morrison éditions, 2003.
- B. BRABU *et al.*, "Characterization and bacterial toxicity of lanthanum oxide bulk and nanoparticles", *Science Directs, Journal of Rare Earths*, vol. 30, n° 12, décembre 2012.
- L. BREGOLI *et al.*, "Toxicity of antimony trioxide nanoparticles on human hematopoietic progenitor cells and comparison to cell lines", *Toxicology*, 3 août 2009, n° 262 (2), p. 121-129; epub 29 mai 2009.
- M. CHEN, A. von MIKECZ, "Formation of nucleoplasmic protein aggregates impairs nuclear function in response to SiO₂ nanoparticles", *Experiment Cell Res*, n° 305, 2005, p. 51-62.
- Z. CHEN *et al.*, "Acute toxicological effects of copper nanoparticles *in vivo*", *Toxicol Lett.*, n° 63 (2), mai 2006, p. 109-120; epub 14 novembre 2005.
- K. CHRISTIANSEN, *Background Paper on Environmental and Risk Aspects of Nanotechnology*, Ministry of Science, Technology and Innovation, Copenhagen, 2004.
- Comité consultatif national d'éthique, "Questions éthiques posées par les nanosciences, les nanotechnologies et la santé", Avis n° 96, mars 2007.
- Comité de la prévention et de la précaution, *Nanotechnologies, nanoparticules : quels dangers, quels risques?*, Ministère de l'Écologie et du Développement durable, 2006.
- Commission des communautés européennes, *Vers une stratégie européenne en faveur des nanotechnologies*, 2004.
- Département de sécurité sanitaire et environnementale d'Ashland (USA), "Information de sécurité sanitaire sur le produit : Nano-cire de carnauba « Eagle One™ NANO WAX-AS-U WASH CAR »", [http://s7d9.scene7.com/is/content/GenuinePartsCompany/1691669pdf?\\$PDF\\$](http://s7d9.scene7.com/is/content/GenuinePartsCompany/1691669pdf?PDF)
- DIGITIP, *Étude prospective sur les nanomatériaux : synthèse. Développement & Conseil*, 2004.
- K. L. DREHER, "Nanotechnology implications in health and the environment", *National Science and Technology Council Committee on Technology. Subcommittee on Nanoscale Science Engineering and Technology. Nanotechnology Grand Challenge in the Environment*, National Science and Technology Council, Virginie, 2003, p. 40-44.
- J.-P. DUPUY, F. ROURE, *Les Nanotechnologies : éthique et prospective industrielle*, Conseil général des mines, 2004.
- F. DÜRRENBARGER *et al.*, *Overview of Completed and Ongoing Activities in the Field: Safety and Risks of Nanotechnology*, TEMAS AG, 2004.
- D. FEIGENBAUM *et al.*, *Les Nanotechnologies : leurs bénéfices et leurs risques potentiels*, Cirano, 2004.
- B. GAISER *et al.*, "Effects of silver and cerium dioxide micro- and nano-sized particles on *Daphnia magna*", *Journal of Environmental Monitoring*, n° 13, 2011, p. 1227-1235, DOI: 10.1039/C1EM10060B.
- L. GUOQIANG *et al.*, "Effects of nano-copper (II) oxide and nano-magnesium oxide particles on activated sludge", *Water Environment Research*, vol. 84, n° 7, juillet 2012, p. 569-576 (8).
- Health and Safety Executive, "Health effects of particles produced for nanotechnologies", Grande-Bretagne, 2004.
- P. H. M. HOET *et al.*, "Health impact of nanomaterials?", *Nature Biotech*, n° 22 (1), p. 19, 2004.
- D. HSING PO KANG *et al.*, "Potential environmental and human health impacts of rechargeable lithium batteries in electronic waste", *Environmental Science and Technology*, n° 47 (10), 2013, p. 5495-5503, DOI: 10.1021/es400614y.
- J. HU *et al.*, "Toxicity of lead on *Ceriodaphnia dubia* in the presence of nano-CeO (2) and nano-TiO (2)", *Chemosphere*, n° 89 (5), octobre 2012, p. 536-541. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2012.05.045; epub 6 juin 2012.
- Y. JUNG, S. J. LIPPARD *et al.*, "Direct cellular responses to platinum-induced DNA damage", *Chemical Reviews*, n° 107 (5), 2007, p. 1387-1407, DOI: 10.1021/cr068207j.
- T. KOVACS *et al.*, "An ecotoxicological characterization of nanocrystalline cellulose (NCC)", n° 4 (3), septembre 2010, p. 255-270, DOI: 10.3109/17435391003628713.

- P. LAMY, *Nanomatériaux : risques pour la santé et l'environnement*, Centre national des risques industriels et Centre de recherche sur la matière divisée, 2005.
- L. MA-HOCK *et al.*, "Comparative inhalation toxicity of multi-wall carbon nanotubes, graphene, graphite nanoplatelets and low surface carbon black", *Particle and Fibre Toxicology*, 2013. DOI: 10.1186/1743-8977-10-23, BioMed Central Ltd, 2013.
- I. MALSCH *et al.*, *Benefits, Risks, Ethical, Legal and Social Aspects of Nanotechnology*, Nanoforum, 2004.
- D. MARK, *Nanomaterials: A Risk to Health at Work? Proceedings of the First International Symposium on Occupational Health Implications of Nanomaterials*, Health and Safety Laboratory and the National Institute for Occupational Safety and Health, 2005.
- H. MENG, "Ultrahigh reactivity provokes nanotoxicity: explanation of oral toxicity of nano-copper particles", *Toxicol Lett.*, n° 175 (1-3), décembre 2007, p. 102-110; epub 13 octobre 2007.
- M. MORRISON *et al.*, "Nanotechnology and its implications for the health of the EU citizen", Nanoforum, décembre 2003.
- A. OBADIA, *Les Nanotechnologies*, avis et rapports du Conseil économique et social, juillet 2008.
- G. OBERDÖRSTER *et al.*, "Acute pulmonary effects of ultrafine particles in rats and mice", *HEI Research Report*, n° 96, août 2000.
- A. OMID *et al.*, "Tendance à la destruction de la barrière membranaire des cellules", "Toxicity of graphene and graphene oxide nanowalls against bacteria", *ACS Nano*, 2010, 4 (10), p. 5731-5736, American Chemical Society, 2013.
- C. OSTIGUY *et al.*, *Les Effets à la santé reliés aux nanoparticules*, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, rapport IRSST, 2006.
- Royal Society & Royal Academy of Engineering, *Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties*, The Royal Society, Grande-Bretagne, 2004.
- C. SAUNIER, *L'Évolution du secteur des semi-conducteurs et ses liens avec les micro et nanotechnologies*, Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, janvier 2003.
- C. SAUNIER, *Rapport sur l'évolution du secteur de la micro/nano-électronique*, Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 2008.

ACTES SUD
Extrait du catalogue
série "Questions de société"

ANALYSES, ENQUÊTES ET RÉVÉLATIONS

Donner du sens au flot quotidien de l'actualité, proposer des analyses de fond et des enquêtes originales, démasquer les grands mythes, aller au cœur des conflits, chercher des alternatives – la série "Questions de société" offre un espace d'expression ouvert tant à l'investigation qu'à l'engagement.

Qu'ils abordent les grands enjeux géopolitiques (Inde, Iran, Russie, Afrique), les menaces pesant sur notre santé (surmédication, génétique, sida, cancer) ou les effets collatéraux de certains choix technologiques (nucléaire, RFID, obsession sécuritaire, addiction télévisuelle, Internet, complexe agroalimentaire), nos auteurs s'opposent à la pensée unique et combattent la désinformation.

Pour de plus amples informations : la navigation par mot clé
www.actes-sud.fr/rayon/sciences-humaines-et-sociales-sciences

DERNIERS OUVRAGES PARUS

Frédéric DENHEZ

LA FIN DU TOUT VOITURE

Septembre 2013 / 13,5 x 21,5 / 224 pages

Franck LEROY

*RÉSEAUX SOCIAUX ET CIE - LE COMMERCE DES
DONNÉES PERSONNELLES*

Avril 2013 / 13,5 x 21,5 / 272 pages

Debra Lynn DADD

ALERTE AUX PRODUITS TOXIQUES

Octobre 2012 / 14,5 x 24 / 336 pages

Moïra SAUVAGE

GUERRIÈRES !

À LA RENCONTRE DU SEXE FORT

Mai 2012 / 13,5 x 21,5 / 320 pages

Jean-Philippe DESBORDES

MANAGEMENT CIRCUS

Avril 2012 / 13,5 x 21,5 / 160 pages

Øyvind STRØMMEN

LA TOILE BRUNE

Avril 2012 / 13,5 x 21,5 / 208 pages

Freeman DYSON

PORTRAIT DU SCIENTIFIQUE EN REBELLE

Novembre 2011 / 14,5 x 24 / 336 pages

Pavan K. VARMA

DEVENIR INDIEN

LA RÉVOLUTION INACHEVÉE DE LA CULTURE ET DE L'IDENTITÉ

Novembre 2011 / 14,5 x 24 / 288 pages

Marie GROSMAN et Roger LENGLET

MENACE SUR NOS NEURONES

ALZHEIMER, PARKINSON... ET CEUX QUI EN PROFITENT

Septembre 2011 / 14,5 x 24 / 288 pages

Christian FELBER

L'ÉCONOMIE CITOYENNE

UN MOUVEMENT A VU LE JOUR

Avril 2011 / 13,5 x 21,5 / 208 pages

Anne HEBERLEIN

JE NE VEUX PAS MOURIR MAIS EN FINIR AVEC LA VIE

EXPÉRIENCE BIPOLAIRE ET SUICIDE

Avril 2011 / 13,5 x 21,5 / 160 pages

Christine CASTELAIN MEUNIER et Francis MEUNIER

DE QUOI EST FAIT MON PULL ?

PAS À PAS VERS L'ÉCOCITOYENNETÉ

Janvier 2011 / 13,5 x 21,5 / 224 pages

Henri, Jean-Louis et Pascal PUJOL

QUESTION(S) CANCER

Novembre 2010 / 13,5 x 21,5 / 192 pages

Hervé BOURGES

L'AFRIQUE N'ATTEND PAS

Octobre 2010 / 13,5 x 21,5 / 192 pages

Juli ZEH et Ilija TROJANOW

ATTEINTE À LA LIBERTÉ

LES DÉRIVES DE L'OBSSESSION SÉCURITAIRE

Septembre 2010 / 12,5 x 19 / 192 pages

Werner BOOTE et Gerhard PRETTING

PLASTIC PLANET

LA FACE CACHÉE DES MATIÈRES SYNTHÉTIQUES

Septembre 2010 / 12,5 x 19 / 254 pages

Francesco FORGIONE

MAFIA EXPORT

COMMENT LES MAFIAS ITALIENNES ONT COLONISÉ LE MONDE

Septembre 2010 / 14,5 x 24 / 304 pages

Silvia PÉREZ-VITORIA

LA RIPOSTE DES PAYSANS

Février 2010 / 12,5 x 19 / 304 pages

Francis HALLÉ

LA CONDITION TROPICALE

UNE HISTOIRE NATURELLE, ÉCONOMIQUE ET SOCIALE DES

BASSES LATITUDES

Février 2010 / 14,5 x 24 / 576 pages

Pavan K. VARMA

LA CLASSE MOYENNE EN INDE

NAISSANCE D'UNE NOUVELLE CASTE

Novembre 2009 / 12,5 x 19 / 320 pages

Georges LE GUELTE

LES ARMES NUCLÉAIRES

Mythes et réalités

Mars 2009 / 14,5 x 24 / 400 pages

Valery PANIOUCHKINE et Mikhaïl ZYGAR

GAZPROM

L'ARME DE LA RUSSIE

Octobre 2008 / 14,5 x 24 / 368 pages

OUVRAGE RÉALISÉ
PAR L'ATELIER GRAPHIQUE ACTES SUD
REPRODUIT ET ACHÉVÉ D'IMPRIMER
EN FÉVRIER 2014
PAR NORMANDIE ROTO IMPRESSION S.A.S.
À LONRAI
POUR LE COMPTE DES ÉDITIONS
ACTES SUD
LE MÉJAN
PLACE NINA-BERBEROVA
13200 ARLES

DÉPÔT LÉGAL
1^{re} ÉDITION: MARS 2014
N° d'impression : 1400764
(Imprimé en France)