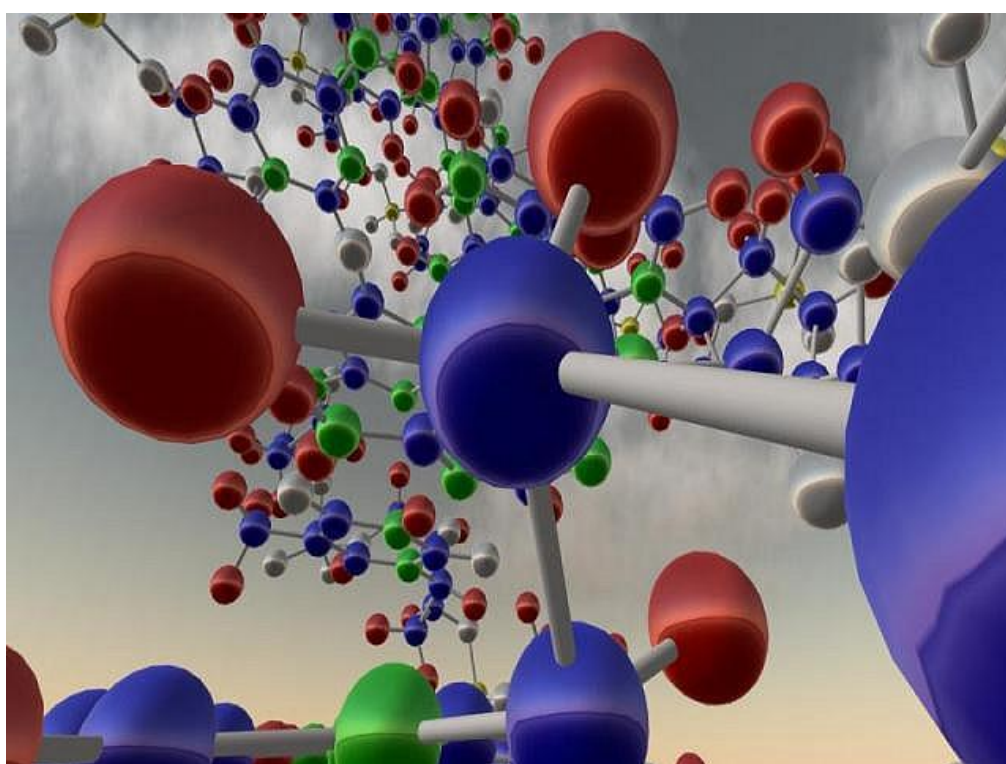


**Les nano-argents et les dioxydes de titane dans les revêtements :  
Etat des lieux des connaissances, incertitudes et controverses**

**23 novembre 2010**




© Droit réservés

*Rapport d'expertise intermédiaire  
du processus pluraliste Coexnano*

Un espace-forum est disponible sur le site de VivAgora, pour recueillir vos commentaires et contributions : <http://www.vivagora.org/spip.php?article776>

Merci de votre participation !

L'association  est une plate-forme de veille, d'information et de concertation pour une contribution citoyenne aux choix scientifiques et techniques. Elle propose des outils pour accompagner les parties prenantes (industriels, associations, institutions de recherche, responsables politiques) dans leurs démarches de dialogue. VivAgora promeut des modes d'expertise pluraliste, l'implication des acteurs et une construction de la confiance pour des décisions politiques robustes, fondées sur des priorités durables et humaines.

[http : www.vivagora.org](http://www.vivagora.org)

contact : [vivagora@vivagora.org](mailto:vivagora@vivagora.org)

### **Remerciements**

VivAgora tient à remercier le MEEDDM qui lui a fait confiance pour mener cette expérimentation en matière d'expertise pluraliste. Elle remercie aussi les membres du Comité de pilotage, ainsi que ceux du Comité référent d'experts dont les contributions ont été très précieuses.

## SOMMAIRE

AUTEURS ET PERSONNALITÉS ASSOCIÉES .....	5
RÉSUMÉ.....	7
SUMMARY .....	11
NOTRE DÉMARCHE .....	15
NOTRE MÉTHODOLOGIE .....	19
 I- ÉTAT DES LIEUX DES CONNAISSANCES ET INCERTITUDES SCIENTIFIQUES .....	23
1.1. Les revêtements au nano-dioxyde de titane.....	23
Des propriétés appréciées pour la purification de l'air et le nettoyage des surfaces .....	23
Des marchés de niche dans de nombreux secteurs de l'industrie .....	23
Des effets reconnus, mais mal documentés.....	25
Le nano-dioxyde de titane, un matériau à la toxicité peu étudiée .....	26
D'un produit à l'autre, les risques éventuels ne sont pas les mêmes .....	27
Etat des lieux des principales données et incertitudes.....	28
Approche par produits.....	29
2.2. Les revêtements au nano-argent .....	31
Des propriétés antibactériennes convoitées.....	31
Des développements tous azimuts.....	31
Zoom sur quelques produits au nano-argent .....	32
De très grandes variations dans l'efficacité des produits .....	33
Toxicité et écotoxicité du nano-argent : des connaissances scientifiques très parcellaires .....	33
Etat des lieux des principales données et incertitudes .....	34
Approche par produits.....	36
 II- POINTS DE CONTROVERSE .....	37
2.1. Mais, au fait, c'est nano ou pas ? .....	37
2.2 Les risques sont-ils importants ? .....	39
Nano-dioxyde de titane : quelle perception des risques par les parties prenantes ? .....	40
Nano-argent : quelle perception des risques par les parties prenantes ?.....	41
Qui assure ces risques ? Que se passerait-il en cas de dommages ?.....	43
2.3. Quel risque (ou quel degré d'incertitude) peut-on accepter pour quel bénéfice ? .....	45
Des bénéfices pour qui ? Pour quoi ?.....	46
Quelle valeur ajoutée des produits par rapport aux alternatives existantes ? .....	46
Les bénéfices économiques sont-ils importants ? .....	47
Analyse bénéfices/ risques : quelques critères discriminants .....	47

III- RÉGULATIONS ET RESPONSABILITÉS : .....	49
PERSPECTIVES ET DÉFIS POUR DEMAIN .....	49
3.1. De nombreux chantiers en cours .....	49
Réglementations et régulations .....	49
Les questions de définition.....	50
La responsabilisation des acteurs .....	51
3.2. Encore de nombreux défis à relever .....	52
Des connaissances scientifiques à renforcer .....	52
Informier et sensibiliser les acteurs de manière pertinente.....	52
Le cycle de vie des produits et la gestion de leur fin de vie : un impensé de taille .....	53
IV – CONCLUSIONS .....	57
4.1 Réaliser des analyses multidimensionnelles bénéfices-risques .....	57
4.2. Sortir des impasses des postures ou des représentations .....	58
4.3. Mettre les dilemmes en concertation .....	59
<i>Annexe 1 : produits au nano-dioxyde de titane repérés .....</i>	<i>61</i>
<i>Annexe 2 : produits au nano-argent repérés .....</i>	<i>63</i>
<i>Références et précisions .....</i>	<i>67</i>

## AUTEURS ET PERSONNALITÉS ASSOCIÉES

Cette étude a été rédigée sous la responsabilité de Dorothée Benoit-Browaey, déléguée générale de VivAgora, par Nathalie Fabre et Mathilde Detchevery, chargées de mission à VivAgora, avec la participation d'Ermeline Malcotte, doctorante à l'Université Paris X- Nanterre et membre du Conseil d'Administration de VivAgora.

La rédaction de ce document a été effectuée à partir de travaux préliminaires réalisés par Guillaume Combe, étudiant de l'IEP Grenoble, encadré par Vincent Mangematin (économiste, Ecole de Management de Grenoble), et Pamela Legrand, étudiante en Master Santé Publique à l'Université Paris V, encadrée par Alain Lombard (toxicologue, Allotoxconsulting).

Ce travail a été soutenu par un Comité référent d'experts (voir composition ci-dessous) dont la mission a été de repérer les documents et publications pertinentes, d'approfondir les questionnements, de contribuer à la compilation et à l'analyse de la littérature.

Il a été orienté et coordonné par un Comité de pilotage composé de manière pluraliste associant des académiques, des associatifs, des représentants de fédérations industrielles et les pouvoirs publics.

### LISTE DES MEMBRES DU COMITE DE PILOTAGE (COPIL)

Jean-Pierre ANQUETIL – Office général du bâtiment et des travaux publics (OGBTP)

Michel BECQ – Administrateur au Sénat, auteur de la méthode de « débat d'expertise » prônée par l'association OREE.

Valéry BONNET – Fédération française de la photocatalyse (FFP)

Olivier CALVEZ – Direction générale du Travail au Ministère du Travail (*à partir de novembre 2010*)

Philippe CHEMIN – Direction générale de la prévention des risques (DGPR) au Ministère du développement durable (MEEDDM)

Raphaël CHEVALLIER – Direction générale du Travail au Ministère du Travail (*jusqu'à sa mutation fin octobre 2010, remplacé ensuite par Olivier Calvez*)

André CIOLELLA – Réseau Environnement Santé

Gilles DIXSAUT – Médecin à l'Assistance publique des hôpitaux de Paris

Dominique GIRAULT – Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF) au Ministère de l'économie, de l'industrie et de l'emploi

Camille HELMER – Association nationale des industries agroalimentaires (ANIA)

Alain LOMBARD – Allotoxconsulting

Ermeline MALCOTTE – Université Paris X Nanterre

Madeleine MADORE – Association Défense Recherche Environnement Santé (ADRES)

Vincent MANGEMATIN – Ecole de Management de Grenoble (EMG)

Fabrice NESSLANY – Chef adjoint du service de toxicologie génétique de l'Institut Pasteur de Lille

Dominique PROY – France Nature Environnement

Richard VARRAULT – Portail sur l'eau et l'environnement Waternunc

Christophe ZING – Fédération française de la photocatalyse (FFP)

## **LISTE DES MEMBRES DU COMITE REFERENT D'EXPERTS**

### **Pour la partie « Evaluation des propriétés, bénéfices et risques »**

Magali BOIZE, pharmacien évaluateur des risques sanitaires chez EDF (*jusqu'à sa mutation fin octobre 2010*)

Jean-Yves BOTTERO, écotoxicologue, directeur du Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement – CEREGE

Eric GAFFET, chimiste, directeur de recherche au Centre national de la recherche scientifique (CNRS) - Nanomaterials Research Group - UMR CNRS 5060

Alain LOMBARD, toxicologue, AlloToxConsulting

Fabrice NESSLANY, toxicologue, chef adjoint du service de toxicologie génétique de l'Institut Pasteur de Lille

Benoît SCHNURIGER, Filière/Procédé/Fin de vie/Déchets, Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS)

Eric THYBAUD, Toxicologie/Ecotoxicologie/Réglementation, Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS)

Sophie VASLIN-REIMANN, Responsable Division Métrologie Chimique et Biomédicale, au Laboratoire national de métrologie et d'essai (LNE)

### **Pour les « Aspects socio-économiques »**

Vincent MANGEMATIN, économiste, Ecole de Management de Grenoble

Ermeline MALCOTTE, doctorante en philosophie auprès de Bernadette Bensaude-Vincent, Paris X-Nanterre

### **Avertissements :**

Les auteurs et participants à cette étude se sont exprimés en leur nom propre. Leurs propos ne sauraient engager les organismes auxquels ils sont rattachés.

Par ailleurs, le comité référent d'experts n'a pas eu pour mission de valider ce rapport final qui constitue une synthèse, assumée par VivAgora, avec le souci de la pertinence, de la justesse et du pluralisme (diversité des points de vue exprimés). En aucun cas, il ne saurait être considéré comme reflétant les positions particulières des personnalités associées à la démarche.

## RÉSUMÉ

Ce rapport constitue la première étape d'un processus expérimental, mené par l'association VivAgora avec le soutien du Ministère de l'Environnement (appel à projet REPERE : Repère et Expertise pour Piloter Ensemble la Recherche et l'Expertise, dans la lignée du Grenelle de l'Environnement). Ciblée sur les revêtements au dioxyde de titane ( $\text{TiO}_2$ ) et au nano-argent (nAg), cet état des lieux des connaissances et incertitudes, établi à partir des résultats de la recherche tant chimique, toxicologique, écotoxicologique qu'économique permet à tout citoyen de se repérer dans ce domaine et d'articuler ses questionnements. La seconde étape de cette expertise pluraliste en spirale (par intégration successive des acteurs concernés) impliquera des représentants associatifs afin de hiérarchiser les préoccupations d'ordre sanitaire, écologique ou éthique. Dans une troisième étape, les diverses parties prenantes (industriels, associatifs, pouvoirs publics et académiques) seront réunies pour un dialogue visant à identifier les mesures à envisager pour favoriser des pratiques robustes d'innovation et des usages responsables des technologies.

L'ensemble du processus est porté et ajusté par un Comité de pilotage pluraliste

Pour garantir la qualité scientifique de ce rapport préliminaire, VivAgora s'est appuyée sur un Comité référent d'experts.

### **I - Le champ d'investigation ciblé est celui des nanorevêtements.**

Ce domaine a été choisi pour trois raisons :

1 – Il illustre la spécificité des nanotechnologies : fonctionnaliser les objets (et plus particulièrement les surfaces) c'est-à-dire leur conférer des atouts inédites. Les revêtements sont constitués de couches plus ou moins épaisses qui sont apposées sur différents produits de notre quotidien, pour leur greffer ainsi de nouvelles propriétés :

- Auto-nettoyantes et/ou dépolluantes : en ajoutant du dioxyde de titane dans des bétons, des ciments, des peintures ou des filtres, les entreprises proposent des matériaux à valeur ajoutée qui réduisent la pollution de l'air ou de l'eau, et/ou font baisser les coûts d'entretien des façades et des vitres, en limitant le recours à des produits polluants de nettoyage.
- Bactéricides : le nano-argent permet d'améliorer l'hygiène et/ou le confort, en luttant contre les bactéries et les mauvaises odeurs. Il est introduit dans quantité de produits de consommation courante : de la planche à découper aux machines à laver en passant par les textiles, les emballages alimentaires, les tétines de biberons et les pansements.

Six catégories de produits ont été plus particulièrement explorées au cours de notre enquête :

- Ciments photocatalytiques ( $\text{TiO}_2$ )
- Peintures, enduits et vernis photocatalytiques ( $\text{TiO}_2$ )
- Verres et vitres photocatalytiques ( $\text{TiO}_2$ )
- Revêtements antibactériens (nAg) des appareils électroménagers et informatiques
- Textiles antibactériens « anti-odeurs » (nAg)
- Pansements antibactériens (nAg), dans leurs applications à l'hôpital ou dans la vie quotidienne

2 – Il recèle de forts enjeux économiques : les revêtements constituent le troisième champ d'application le plus important des nanomatériaux après les cosmétiques et les plastiques. Le marché de la photocatalyse (qui inclut des produits au dioxyde de titane) connaît une croissance rapide, avec en particulier de nombreuses applications dans le bâtiment. Les produits au nano-argent, qui touchent au secteur de la grande consommation, sont en train de se banaliser.

3 – Il génère des applications qui sont, à la fois sources de bénéfices et de risques : le rapport met en lumière les principaux arguments qui militent pour ou contre les développements de ces nouveaux produits (gains économiques, bénéfices sanitaires, environnementaux, sociétaux..., pollutions potentielles, possibles problèmes sanitaires, etc.). Un des objectifs de ce processus d'expertise, est de permettre une montée en compétence des citoyens intéressés afin qu'ils puissent :

- poser des questions pertinentes (et impertinentes)
- pointer les hypothèses et valeurs implicites
- les mettre en débat.

**Les incertitudes et polémiques qui accompagnent les développements de ces nanoproduits n'ont donc pas été lissées, mais au contraire soulignées et discutées dans ce document**, afin que les citoyens puissent s'emparer de ces questions et apporter leurs contributions à l'élaboration de solutions durables et responsables

## II – Repérage et constats

Le travail d'investigation fait apparaître une situation contrastée, avec des différences notables entre les nanomatériaux étudiés.

Nano-dioxyde de titane	Nano-argent
L'utilisation de dioxyde de titane pour la photocatalyse peut avoir des effets bénéfiques sur la santé et l'environnement (dépollution de l'air et de l'eau, etc.). De possibles effets pervers et des risques potentiels ont aussi été pointés (rejets d'acide nitreux, de formaldéhyde, pollutions environnementales), mais les connaissances scientifiques sont aujourd'hui insuffisantes pour tirer des conclusions.	Malgré les nombreuses incertitudes, on peut d'ores et déjà affirmer que, si les quantités de nano-argent présentes dans l'environnement venaient à croître fortement, des effets néfastes seraient observés sur la faune et la flore aquatique.

Il est clair que les bénéfices et risques de ces nanorevêtements, sont de natures très variées.

- Concernant les bénéfices, les effets recherchés peuvent concerner des objectifs aussi différents que :
  - la santé publique (dans le cas des pansements),
  - l'amélioration de l'hygiène générale (dans le cas des revêtements des produits électroménagers),
  - le confort (dans le cas des textiles anti-odeurs).
- Concernant les risques, la question de l'intensité du relargage constitue un point clé. On constate par exemple que les nanomatériaux sont plus susceptibles de se détacher de leur support et de se disséminer dans l'environnement, lorsqu'ils sont déposés sur des textiles ou



pulvérisés sous forme de sprays, que lorsqu'ils sont « solidement » intégrés dans la matrice des produits, comme les verres ou les revêtements des appareils électroménagers.

Au sein de chaque catégorie de produits, des différences notables peuvent encore être observées avec, notamment :

- De très fortes variations dans l'efficacité des produits (en particulier pour les produits au nano-argent : variation d'un facteur 1 à 1000) et la durée de leur efficacité
- Des attitudes contrastées des entreprises vis-à-vis des éventuels problèmes sanitaires et environnementaux (soin plus ou moins important apporté à la qualité des produits)
- Des différences importantes dans la mise en œuvre, l'utilisation et l'entretien des produits (recours ou non à du personnel spécialisé muni de protections efficaces, par exemple). Ainsi les conditions d'usages entrent fortement en ligne de compte et permettent de hiérarchiser les problèmes.

**Ces différences, qui peuvent changer profondément la donne, rendent manifeste la nécessité d'une approche, produit par produit, qui tienne compte de l'ensemble du cycle de vie (de la phase de recherche et développement, à leur destruction, en passant par leur production, mise sur le marché, utilisation, etc.) et qui intègre les différents paramètres (conditions de mise en œuvre, d'utilisation, d'entretien, de mise en déchet...).**

### **III- Facteurs limitants**

Par-delà ces constats, l'état des lieux rend compte d'un grand nombre de difficultés :

□ **L'étendue des incertitudes scientifiques, qui rend difficile tout calcul bénéfices/risques** : le rapport pointe des lacunes de connaissances importantes, tant pour le dioxyde de titane que pour le nano-argent (manque de données concernant l'efficacité, absence d'études épidémiologiques, quasi-absence d'études de toxicologie et d'écotoxicologie sur les formes de nanomatériaux telles qu'elles sont incorporées dans les produits, etc.). De nombreux produits sont donc mis sur le marché sans garantie de leur innocuité

□ **Les difficultés d'accès aux données industrielles** : du côté des industriels, les attitudes sont assez contrastées, depuis la suspicion jusqu'à la participation constructive (NanoFrance Technologie, fédération française de la photocatalyse, Office général des bâtiments et des travaux publics...), en passant par le discours convenu et contrôlé. Le secret industriel pose ici problème puisque les chercheurs (toxicologues, écotoxicologues...) n'ont que rarement accès aux informations précises des formes physico-chimiques des nanoparticules qui sont intégrées dans les produits.

□ **L'absence de définition des nanomatériaux** et les ambiguïtés sur le statut des agrégats et agglomérats (doivent-ils aussi être considérés comme des nanomatériaux ?)

□ **Les insuffisances de la réglementation** : des évolutions de la réglementation sont en cours, mais il est encore difficile de se repérer et la situation reste largement insatisfaisante, tant pour les citoyens qui demandent à être mieux protégés que pour les industriels qui manquent de visibilité sur les nouvelles contraintes auxquelles ils pourraient être soumis.

- **Le nombre et la diversité des acteurs** qui interviennent dans la chaîne de production et d'utilisation des nanomatériaux (chercheurs, producteurs, intégrateurs, distributeurs, prescripteurs, metteurs en œuvre, utilisateurs, consommateurs...). Cette situation tend à conduire, de fait, à une dilution des responsabilités et à une perte d'informations tout au long de la chaîne...
- **Le manque de critères pour hiérarchiser les innovations**, du plus souhaitable à l'inacceptable, et déterminer quel degré de risque (ou d'incertitude) est acceptable pour chacune des parties prenantes au regard des bénéfices attendus.

#### **IV- Objectifs**

L'horizon de ce travail est de caractériser avec les citoyens les produits et usages souhaitables ou non, de manière à en débattre avec les industriels et envisager les modalités d'une innovation robuste et responsable : le présent document n'est pas le point d'aboutissement de l'expertise mais au contraire un point d'ancrage permettant à la société civile de se repérer parmi les connaissances et les incertitudes.

Ce rapport va servir de base pour une mise en discussion (le 9 décembre 2010), par les représentants de la société civile, dans le but de hiérarchiser les données et préoccupations. L'ensemble des parties prenantes sera invité à interagir pour répondre aux interrogations citoyennes et proposer des solutions, au printemps 2011.

## SUMMARY

This report is the first step of an experimental process led by VivAgora with the support of the French Minister of Ecology (REPERE call for projects: exploration and expertise for a collective governance of research and expertise, in the wake of the national “Environment Round Table” known as “Grenelle de l’Environnement”). Focused on titanium dioxide and nanosilver surface coatings, this overview of knowledge and uncertainties has been built upon research results in chemistry, toxicology, ecotoxicology and economics; its aims is to allow citizens to get an understanding of this area and to develop their own questions.

The second step of this iterative pluralistic expertise between stakeholders will involve civil society organizations in order to prioritize health, environmental or ethical concerns.

The third step will get together various stakeholders (industries, civil society organizations, public officials and academics) for a dialogue about actions to be done in order to promote robust innovation practices and responsible uses of technology.

The whole process is supported and adjusted by a pluralistic steering committee. A committee of experts has also been set up to ensure the scientific quality of this preliminary report.

### I – A focus on nanocoatings

Nanocoatings have been chosen for three reasons :

1 – They illustrate the specificity of nanotechnology: functionalizing objects (especially their surfaces) give them unprecedented advantages. The coatings are made of different types of layers that are spread on various daily products in order to provide them with new properties:

- self-cleaning or remediation properties: by adding titanium dioxide in concrete, cement, paints or filters, companies offer value-added materials that reduce pollution of air or water, and / or lower the cost of maintenance of the facades and windows, and the use of polluting cleaning products.
- biocidal properties: nanosilver can reduce bacteria and odors and is used to improve hygiene and/or comfort; a wide range of consumer goods already contains nanosilver (from chopping boards to washing machines through textiles, food packaging, bottle nipples, and wound dressings).

Our investigation focuses on six categories of products :

- photocatalytic concretes (TiO<sub>2</sub>)
- photocatalytic paints, plasters and varnish (TiO<sub>2</sub>)
- photocatalytic glass and windows (TiO<sub>2</sub>)
- biocid coatings (nAg) for electronic computing devices and household appliances
- antimicrobial and odorless textiles (nAg)
- biocid wound dressings (nAg) in daily life or in hospitals

2 – This innovation field involves high economic stakes: coatings are the third most important type of nanomaterials’ applications after cosmetics and plastics. Photocatalysis market (which includes titanium dioxide products) is rapidly growing, especially in the construction industry. Nanosilver products are also dramatically spreading in the consumer goods sector.

3 – These applications carry both benefits and risks: the report highlights the main arguments supporting or rejecting the development of these new products (e.g. economic gains; health, environmental, and societal benefits, versus potential pollutions, health and safety issues, etc.). One of the main goal of this expertise process is to empower interested citizens, in order for them to:

- raise relevant (which might also mean challenging) questions
- explicit tacit hypotheses and values
- debate and discuss these values

We have not sought to smooth uncertainties and controversies that are linked to the development of these nanoproducs, but instead have carefully examined and discussed them in this document, so that citizens can get hold of these questions and bring their perspectives to the design of sustainable and responsible solutions.

## II – Main results

Our investigative work unveils a mixed picture, with significant differences between the various nanomaterials used in the coatings.

Nano-titanium dioxide	Nanosilver
The use of titanium dioxide for photocatalysis can have beneficial effects on health and the environment (remediation of air and water, etc.). Possible adverse effects and potential risks have also been pointed up (releases of nitrous acid, formaldehyde, environmental pollutions), but scientific knowledge is currently insufficient to draw conclusions.	Despite many uncertainties, we know that if the quantities of nanosilver in the environment were to grow strongly, adverse effects would be observed on the aquatic fauna and flora.

Benefits and risks vary from one product category to another:

- regarding benefits, the desired effects may involve goals as diverse as :
  - public health (in the case of wound dressings),
  - improving general hygiene (in the case of coatings for household appliances),
  - comfort (in the case of odorless textiles).
- regarding risks, the intensity and the forms of nanomaterials dissemination in the environment are also very important: when spread or sprayed on fabrics, nanomaterials are more likely to detach from their support and to spread in the environment than when embedded in the products’ matrix, as glass or coatings for household appliances.

Within each product category, differences can still be seen with, among other things:

- huge variations in the effectiveness of products (especially for nanosilver products with variation factor ranging from 1 to 1000) and the duration of their effectiveness
- contrasting attitudes of companies towards potential health and environmental problems (more or less care being given to the quality of the products)
- significant differences in the implementation, use and maintenance of products (trained staff provided with effective protections, or lack thereof for example); the way nanoproducts are used are to be considered in order to prioritize the problems

These differences, which may have a tremendous impact, make clear the need for a case-by-case approach, taking into account the entire life cycle of each type of product (from the phase of research and development to the destruction of the product, through its production, commercialization, use, etc..) that integrates the various parameters and conditions of implementation, use, maintenance, waste treatment, etc.

### III – Limits

Beyond this, this report points out major difficulties:

- **The extent of scientific uncertainties, which complicates any calculation of benefits and risks:** the report emphasizes the important data gaps for both titanium dioxide and nanosilver (lack of data on efficacy, no epidemiological studies, almost no studies on toxicology and ecotoxicology about nanomaterials forms that are incorporated in products, etc..). Many products are commercialized without any guarantee of their safety
- **Difficult access to industrial data:** industries attitudes are quite mixed, from suspicion to constructive participation (NanoFrance Technologie, fédération française de la photocatalyse, Office général des bâtiments et des travaux publics...) through a conventional and controlled discourse. Trade secret is challenging attempts by researchers (toxicologists, ecotoxicologists...) to access accurate and relevant information on physico-chemical properties of nanoparticles that are embedded in products.
- **The lack of definition of nanomaterials** and ambiguities on the status of aggregates and agglomerates (do they have to be considered as nanomaterials too?)
- **The limitations of nano-related regulation:** some regulatory changes are underway, but it is still difficult to get one's bearings; and the situation remains largely unsatisfactory for both citizens (who demand to be better protected) and manufacturers (who are in limbo, waiting for potential new constraints they may have to comply with).
- **The number and diversity of actors** who are involved in the production chain and the use of nanomaterials (researchers, producers, integrators, distributors, purchasing advisors, applicators, users, consumers ...). This tends to lead, in fact, to a dilution of responsibility and a loss of information throughout the chain...
- **The lack of criteria for prioritizing innovations,** from the more desirable to the unacceptable, and determining what level of risk (or uncertainty) is acceptable to each stakeholder with regard to expected benefits.

#### **IV – Goals**

The overall goal of the project is to characterize, with the help of citizens' perspectives, the products and uses that can be considered desirable or not, in order to open a discussion with industries and consider the conditions of a responsible innovation: this document is not the ending point of the expertise process but rather a starting point for civil society to have a first understanding of the knowledge, uncertainties, and major stakes at play.

This report will serve as a basis for a discussion (December 9, 2010) by representatives of civil society organizations in order to prioritize data and concerns. All stakeholders will be invited to interact with these organizations, respond to citizens' concerns, and questions and offer solutions during 2011 spring.

## NOTRE DÉMARCHE

Les **nanotechnologies** comprennent l'ensemble des manipulations et reconstructions de la matière à l'échelle atomique, afin d'obtenir des propriétés et/ ou des fonctionnalités nouvelles spécifiques de la dimension nanométrique (un milliardième de mètre). C'est un terme générique qui renvoie à de multiples outils ou démarches, (descendantes ou ascendantes, miniaturisations ou assemblages) avec comme point commun la conception et la fabrication de structures moléculaires inédites. À cette échelle, la matière a des propriétés particulières qui n'existent pas au niveau macroscopique et que l'on cherche à exploiter de façon industrielle.

**Des centaines de produits de grande consommation sont d'ores et déjà issus de ces nouveaux procédés**, pour un marché mondial estimé à 170 milliards de dollars en 2008<sup>1</sup>. Le Woodrow Wilson Institute (basé à Washington) qui réalise un suivi pour inventaire estime à plus d'un millier les nanoproduits déjà disponibles sur le marché. Leur diversité est considérable car tous les secteurs industriels sont concernés depuis l'automobile, le textile, le bâtiment, l'électronique jusqu'aux médicaments, cosmétiques ou aliments. On qualifie de ce fait les nanotechnologies de « pervasives » : elles touchent toutes sortes d'applications car elles confèrent à des produits usuels des propriétés inédites.

Cette diffusion ultra rapide que certains qualifient de « tsunami » se réalise alors que la recherche sur les risques n'en est qu'à ses débuts. Pourtant si de nouvelles propriétés sont greffées, on comprend bien qu'elles induisent de nouveaux risques. Passage de barrières biologiques du fait de la petite taille des nanoparticules, réactivité accrue, bioaccumulation... sont donc à surveiller. Au-delà des usages et des questionnements sur la balance bénéfices-risques, se posent aussi des questions d'utilité, de finalité, de priorité en matière de consommation, d'hygiène et de soin.

Dans ce contexte particulier, l'association VivAgora a proposé d'expérimenter un mode d'expertise incluant progressivement les acteurs concernés. Cette démarche s'inscrit dans les recherches menées par VivAgora dont la raison sociale est de favoriser la participation de la société civile aux choix technologiques. Elle développe en effet des leviers pour que les préoccupations citoyennes puissent peser dans ces logiques d'innovation et les choix en matière de recherche, de développement et de régulation. Il en va d'une meilleure robustesse des projets dans une construction sociale favorisant la confiance entre les acteurs.

Avec le soutien du **Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer (MEEDDM)**, VivAgora a souhaité engager une expertise pluraliste, qui associe l'ensemble des parties prenantes, dans **une démarche participative ascendante**. L'association considère en effet l'innovation comme un phénomène pas seulement technique mais à dimensions sociales : de ce fait l'expertise sur les produits ne peut se limiter à un pur jugement scientifique. Elle ne peut s'envisager que comme une **mise en valeur** des connaissances et incertitudes scientifiques doublée d'une hiérarchisation des arguments et préoccupations non exclusivement scientifiques, impliquant des intérêts contradictoires.

L'expertise ici réalisée se focalise **sur les revêtements au nano-argent (antibactériens) et au dioxyde de titane (photocatalytiques)**.

## Pourquoi s'intéresser aux revêtements ?

Un revêtement (ou revêtement de surface) se définit, au sens étroit, comme une couche superficielle permettant de modifier les propriétés de surface d'un objet.

L'industrie des revêtements concerne de multiples secteurs industriels, tels que le bâtiment (peintures, revêtements de sol, etc.), l'automobile et l'aéronautique (revêtements de moteurs et de carrosserie).

D'après le rapport Nanotechnology in the European Coatings Industry de la société de conseils IRL (décembre 2008)<sup>2</sup>, l'industrie des revêtements est le troisième domaine le plus important concernant les applications des nanomatériaux, après les cosmétiques et les plastiques. En effet, les nanomatériaux peuvent potentiellement être utilisés pour améliorer les performances de tous les types de revêtements, qu'ils soient en plastique, en bois, en verre ou métalliques, etc.

D'après l'Institut Virtuel des NanoFilms (VINF)<sup>3</sup>, les nanomatériaux peuvent notamment servir à fabriquer :

- des revêtements plus solides et plus résistants à l'usure et à la corrosion, utilisés pour des applications industrielles, par exemple
- des revêtements biocompatibles et résistants à l'usure pour des implants orthopédiques ou dentaires
- des revêtements fonctionnels, pour conférer aux surfaces des propriétés nouvelles (caractère auto-nettoyant, propriétés optiques particulières, etc.). Ce dernier champ d'application a été identifié comme de « grand intérêt » économique, par le VINF.

Il s'agit de marchés en plein essor, avec **de nombreuses applications attendues dans les années à venir**<sup>4</sup>, qui, pour certaines, **reconfigurent totalement les objets de notre quotidien**. En mars 2010, s'est déroulée à Liège la première conférence européenne sur les nanofilms (ECNF 2010) organisée par l'Institut Virtuel des NanoFilms (VINF), qui témoigne de l'effervescence dans ce domaine.

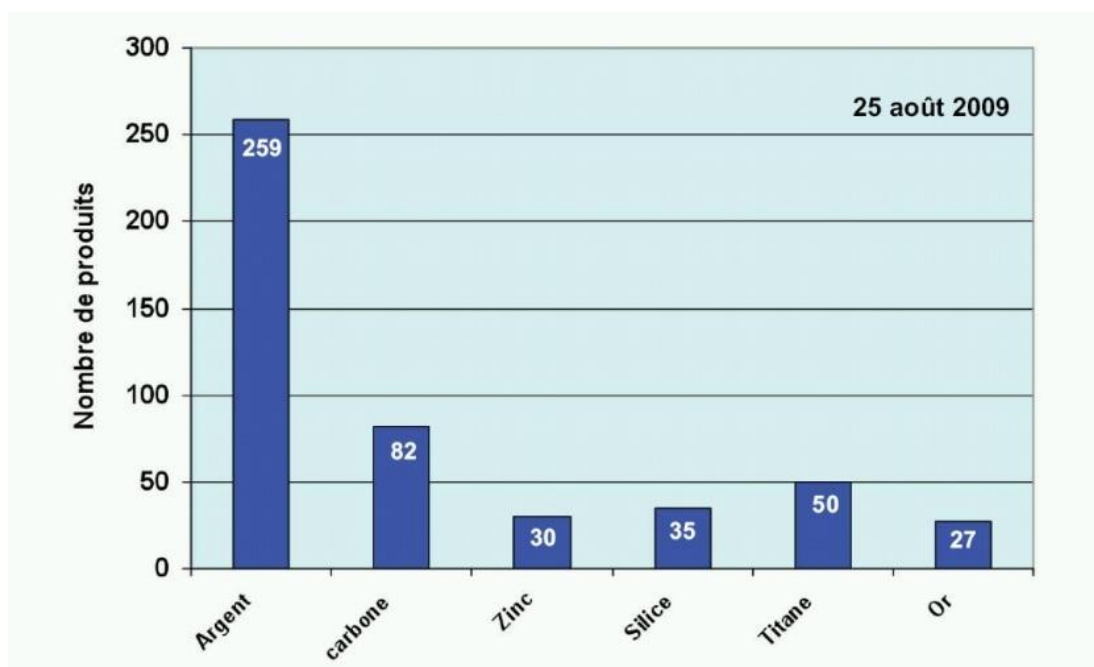
Dans le cadre de cette étude, nous avons choisi d'utiliser une définition élargie du terme « revêtement », pour **considérer tout produit utilisant des nanomatériaux pour améliorer ses propriétés de surface**. Entrent donc dans le périmètre d'investigation non seulement les couches minces (peintures, sprays...) mais aussi par exemple les ciments ou les textiles, lorsqu'ils sont dotés de surfaces actives grâce à des nanomatériaux.

## Pourquoi plus particulièrement les revêtements au nano-dioxyde de titane et au nano-argent ?

Le nanodioxyde de titane ( $\text{nTiO}_2$ ) est doué de propriétés auto-nettoyantes et/ou dépolluantes. Le nano-argent ( $\text{nAg}$ ) dispose, lui, des propriétés antibactériennes. Cette étude est centrée sur les revêtements exploitant ces propriétés, à enjeux économiques et sanitaires importants.

Sur les 1015 produits de consommation courante référencés en 2009 dans l'inventaire du Project on Emerging Nanotechnologies du Woodrow Wilson Center, 259 (soit plus de 25 %) contiennent du nano-argent et 50 (soit près de 5 %) du  $\text{nanoTiO}_2$ <sup>5</sup> :





Le caractère protéiforme des développements de ces produits qui touchent notamment à la grande consommation et la progression exponentielle de leurs marchés dans une situation d'incertitude sur les risques nous ont semblé exemplaires des développements des nanotechnologies en général, d'où l'intérêt d'une focalisation sur ce type de produits.

### Pourquoi vouloir informer les citoyens sur ces questions ?

Les développements des nouvelles technologies, loin d'être anecdotiques, participent à valoriser certains usages et certaines pratiques qui bouleversent le quotidien. Elles font naître de nouvelles incertitudes sur les risques que les particuliers affrontent lors de la mise sur le marché des produits issus des nanotechnologies.

Dans un contexte démocratique, VivAgora estime que les citoyens, qui sont en fin de compte les usagers (bénéficiaires, cobayes ou victimes ?) de ces innovations, peuvent contribuer à **ajuster les choix scientifiques et techniques**. Il est donc essentiel d'inventer des processus pour que la société civile et l'ensemble des parties prenantes puissent jouer un rôle majeur de vigilance, de hiérarchisation des priorités de recherche et de concertation sur les valeurs, en explorant et intégrant les dimensions sanitaires, écologiques et éthiques des projets techniques.

Toutefois, cette nécessité se heurte à la complexité des développements technologiques et à de nombreuses incertitudes concernant leurs impacts. Pour avoir prise sur les innovations et se faire un avis, les acteurs ont donc besoin d'un décryptage à la fois technique (Quoi ?), économique (Intérêts) et stratégique (Qui ? pourquoi ?).

Ce document vise à diffuser une information sur l'état des connaissances, des incertitudes et des controverses qui accompagnent les développements des nanotechnologies, pour que les citoyens, désireux de s'emparer de ces questions, puissent apporter leur contribution à l'élaboration de choix durables et responsables.

## Quelles sont les particularités de notre démarche ?

Plusieurs instances d'expertise et groupes de travail ont déjà rendu des rapports sur les nanotechnologies (Comets du CNRS, CPP, CCNE, AFSSET, Conseil national de la Consommation...). Notre démarche se distingue de ces travaux précédents, par plusieurs particularités :

- une attention particulière portée à l'appropriation des enjeux par les non spécialistes
- la participation de différents acteurs à l'expertise : le présent document est le résultat d'une compilation des informations pertinentes collectées sur ces sujets, avec l'aide de spécialistes des mondes académique et industriel, des pouvoirs publics et des associations mobilisées sur ces sujets.
- une prise en compte, aussi large que possible, des différentes questions posées (interrogations sur les risques, mais aussi sur les bénéfices, l'utilité...)
- un éclairage des différents points de vue formulés (en lieu et place de l'expression d'un avis unique)

LE PRESENT DOCUMENT N'EST PAS LE POINT D'ABOUTISSEMENT DE L'EXPERTISE MAIS PLUTOT UN POINT D'ANCRAGE PERMETTANT A LA SOCIETE CIVILE DE SE REPERER PARMI LES CONNAISSANCES ET LES INCERTITUDES.

Ce rapport va servir de base pour une mise en discussion (le 9 décembre 2010), par les représentants de la société civile dans le but de hiérarchiser les données. Enfin, l'ensemble des parties prenantes sera invité à interagir pour établir un bilan sur les usages, au printemps 2011.

La valeur ajoutée de ce travail consiste donc en l'effort mené pour faciliter la prise en compte des questionnements et valeurs de la société civile dans l'expertise et dans les choix scientifiques et techniques. Ceci constitue une particularité notable, car les expertises précédentes dans le champ des nanotechnologies (notamment les expertises de l'AFSSET) n'ont pas fait appel aux avis des acteurs de la société civile (aucune audition).

Cet effort a été rendu possible grâce au positionnement particulier de VivAgora, comme association de « mise en culture de l'innovation », à l'interface entre plusieurs réseaux d'acteurs, et à sa connaissance approfondie du dossier des nanotechnologies et des jeux d'acteurs.

## NOTRE MÉTHODOLOGIE

### Périmètre de l'étude

Le présent rapport concerne les applications des nano-argents et des nano-dioxydes de titane, pour améliorer les propriétés de surface des produits.

Compte tenu du nombre d'applications entrant dans le champ de l'étude, nous avons restreint le périmètre, en nous focalisant plus particulièrement sur six catégories de produits. Ces dernières ont été choisies pour la diversité des usages qu'elles représentent :

- Ciments photocatalytiques (nTiO<sub>2</sub>)
- Peintures, enduits et vernis photocatalytiques (nTiO<sub>2</sub>)
- Verres et vitres photocatalytiques (nTiO<sub>2</sub>)
- Revêtements antibactériens (nAg) des appareils électroménagers et informatiques
- Textiles antibactériens « anti-odeurs » (nAg)
- Pansements antibactériens (nAg), dans leurs applications à l'hôpital ou dans la vie quotidienne

Sont donc exclues de ce travail d'autres utilisations de ces nanomatériaux comme les applications des nano-argents pour l'alimentation (emballages alimentaires) ou pour la puériculture (tétines pour bébés, anneaux de succion), les compléments alimentaires, les crèmes solaires au nanodioxyde de titane, etc.

### Compilation des données disponibles

Pour analyser ces cinq catégories de produits, deux études préliminaires ont été menées de front : l'une porte sur les dimensions chimiques et (éco)toxicologiques, l'autre sur les dimensions économiques et stratégiques. Ce travail réalisé par deux étudiants s'est appuyé sur un Comité d'experts scientifiques (Comité référent) de différentes spécialités : chimie, toxicologie, écotoxicologie, métrologie, économie, philosophie. Les données publiées, facilement accessibles au grand public, ont été consultées dans le cadre de ce travail :

- Informations délivrées par les industriels sur leurs produits (plaquettes de présentation, fiches techniques, fiches de données de sécurité, etc.)
- Informations délivrées par les fédérations d'industriels
- Brevets déposés à l'INPI ou à l'EPO
- Publications et rapports scientifiques disponibles en ligne (base de données MEDLINE notamment)
- Rapport de l'AFSSET « Les Nanomatériaux - Évaluation des risques liés aux nanomatériaux pour la population générale et pour l'environnement », mars 2010
- Base Nano3 de l'AFSSET (inventaire non exhaustif des nanoproduits présents sur le marché français)

Remarque : A noter, au moment de l'écriture de la première version de ce document, la publication par un assureur allemand du secteur de la construction BG Bau d'un inventaire d'applications contenant des nanomatériaux dans le secteur de la construction<sup>6</sup>.

## Investigations complémentaires

Des entretiens complémentaires ont également été menés, auprès de :

- Trois entreprises : Biowind, Ciments Calcia/ Italcementi et NanoFrance Technologies
- Deux fédérations : Fédération des Industries des Peintures, Encres, Couleurs, Colles et Adhésifs (FIPEC), Fédération française de la photocatalyse (FFP)
- Un représentant de la Direction générale de la compétitivité, des services et de l'industrie (DGCIS) au Ministère des Finances

### Remarques :

Un repérage préliminaire des produits susceptibles de contenir des revêtements au nano-argent et/ou au nano-dioxyde de titane a été effectué, dans les six domaines étudiés. A partir de cette base, un panel d'entreprises, représentatif de la diversité du marché (taille des entreprises, domaine d'activité) a été sollicité. Le tableau ci-dessous récapitule les sociétés qui ont été sollicitées.

Domaine d'activité	Nom de l'entreprise	Suivi des participations au 22 novembre 2010
Production de TiO <sub>2</sub>	Millenium Cristal Global	Pas de participation
Production de TiO <sub>2</sub>	Kronos	Pas de participation
Vernis au nano-argent pour des applications industrielles	EPG Argent (filiale lorraine du groupe allemand EPG)	Pas de participation
Pansements au nano-argent (Acticoat)	Smith & Nephew Antenne France	Pas de participation
Appareils électroménagers et informatiques avec revêtements antibactériens (nano-argent)	Samsung	Pas de participation
Textiles au nano-argent	Meryl Fiber	Pas de participation
Textiles au nano-argent	R.Stat (Lyon)	Pas de participation
Textiles à l'argent	La fibre du Mohair	Pas de participation
Textiles au nanoAg (combiné au TiO <sub>2</sub> )	Firme Sanitized Ag	Pas de participation
Ciments photocatalytiques au TiO <sub>2</sub>	Ciments Calcia Centre Technique Groupe d'Italcementi	Participation
Peintures photocatalytiques	Auro	Pas de participation
Peintures photocatalytiques	Sto	Pas de participation
Peintures photocatalytiques	Daw France	Pas de participation
Vernis au TiO <sub>2</sub> et au nAg, applicables en spray	NanoFrance Technologies (revêtements Photocal)	Participation
Purificateurs d'air au TiO <sub>2</sub> pour applications industrielles	Biowind	Participation
Verres autonettoyants	Saint-Gobain	Pas de participation
Verres autonettoyants	Pilkington	Pas de participation

Il est à noter que seuls 3 industriels ont accepté de répondre à nos sollicitations, sur les 17 entretiens demandés aux responsables des entreprises (soit un taux de réponse d'environ 18%).

Les entretiens réalisés auprès des fabricants ont permis une meilleure compréhension des enjeux et problématiques des produits étudiés. Ils n'ont, par contre, pas permis d'accéder aux données et mesures industrielles, la plupart étant soumises au secret industriel, et ce, malgré les engagements de confidentialité signés. L'absence de ces données a rendu difficile le travail d'évaluation des bénéfices et des risques.

### **Autres contributions**

Les données compilées et les informations obtenues grâce aux entretiens ont également été enrichies des remarques du Comité de pilotage pluraliste (Copil- voir sa composition p.5) incluant des représentants des pouvoirs publics, des associations de protection de la santé, des consommateurs ou de l'environnement, des fédérations industrielles.



## I- ÉTAT DES LIEUX DES CONNAISSANCES ET INCERTITUDES SCIENTIFIQUES

### 1.1. LES REVÊTEMENTS AU NANO-DIOXYDE DE TITANE

#### DES PROPRIÉTÉS APPRÉCIÉES POUR LA PURIFICATION DE L'AIR ET LE NETTOYAGE DES SURFACES

**Le dioxyde de titane a des propriétés photocatalytiques, ce qui permet d'éliminer des polluants sans utilisation de produit chimique**

La photocatalyse est une technique, basée sur la dégradation de matières comme les composés organiques (Composés Organiques Volatils par exemple) ou inorganiques (Oxydes d'Azote...)<sup>7</sup>, en présence d'un catalyseur, généralement le dioxyde de titane ( $\text{TiO}_2$ ), et d'une source lumineuse. Les polluants sont décomposés sous forme de dioxyde de carbone, de vapeur d'eau et de quelques autres composés supposés moins nocifs pour la santé<sup>8</sup>.

Un avantage majeur de cette technique réside dans le fait que le catalyseur n'est pas consommé lors de la réaction, qui se poursuit donc au fil du temps. Enfin, la photocatalyse peut se dérouler dans les conditions ambiantes (les rayonnements UV servant de source d'irradiation, et l'oxygène de l'air de réactif).

**Le dioxyde de titane peut permettre également, grâce à ses propriétés super-hydrophiles, de rendre des matériaux auto-nettoyants pour faciliter voire éviter le nettoyage des surfaces.**

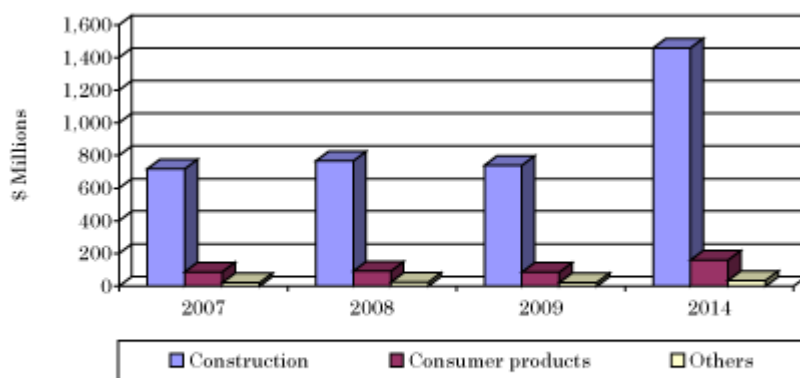
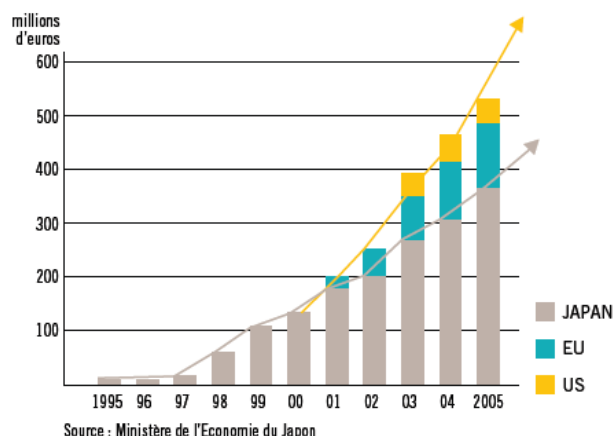
Sous l'influence des rayonnements UV, la surface peut acquérir une forte affinité pour l'eau (pluie...), qui s'étale alors sur le support. Si celui-ci est disposé verticalement, l'action de la gravité permet au film d'eau ainsi formé de glisser à la surface du support en emportant les salissures, préalablement dégradées par l'effet photocatalytique.

Le dioxyde de titane ouvre ainsi des perspectives intéressantes dans les secteurs du bâtiment et de la filtration notamment, avec des produits à revendication :

- **dépolluante**, pour lutter contre la pollution de l'air et de l'eau, et réduire notamment les pics de pollution<sup>9</sup>.
- **autonettoyante** pour réduire les coûts d'entretien des façades et des vitres, accompagnés, pour certains, de revendications de lutte contre les micro-organismes.

#### DES MARCHÉS DE NICHE DANS DE NOMBREUX SECTEURS DE L'INDUSTRIE

Tout juste naissant au Japon dans les années 90, le marché de la photocatalyse a émergé en Europe et aux Etats-Unis au début des années 2000. Ainsi, la Fédération française de la photocatalyse (FFP), qui fédère les acteurs (chercheurs, universitaires et industriels) concernés par ces développements, a-t-elle été créée en avril 2006. Avec un chiffre d'affaires annuel global estimé à 1 milliard d'euros en 2010, le marché enregistre depuis 2002-2003 une croissance importante, comme le révèlent les courbes suivantes (évolution du marché global de la photocatalyse de 1995 à 2005, puis de 2007 à 2014) :



Les applications de la photocatalyse sont diverses et variées. Elles concernent notamment :

- les matériaux pour la construction : ciments, bétons, verres
- les revêtements de façade : peintures, vernis, céramiques
- le génie civil urbain : chaussées, pavés dépolluants, tunnels, etc.
- le traitement de l'air : traitement des effluents industriels, applications domestiques
- le traitement des surfaces : produits anti-corrosion pour les métaux, sprays, etc.

Le secteur de la construction, qui représente 87,4% du marché d'après l'étude de BCC Research, est donc le principal concerné, mais il existe également quelques applications dans des produits de consommation courante. (Voir en annexe 1 la liste des produits au TiO<sub>2</sub> repérés pour les catégories de produits étudiés)



Chaque année, de nouveaux acteurs apparaissent et de nouvelles applications sont recensées par la FFP. Néanmoins, en France, le secteur reste modeste et apparaît trop fragmenté pour parler de marché.



Cristal Global (avec son usine de Thann) est l'un des principaux producteurs, avec environ 1 000 tonnes par an vendues à des industriels français pour des applications dans le bâtiment (ciments, verres) et environ 10 tonnes pour des purificateurs d'air. Une part importante de nanotitane (9000 tonnes) est aujourd'hui exportée<sup>10</sup>. Les applications existantes constituent aujourd'hui des produits de niche, mais la recherche et le développement sont actifs : la photocatalyse est d'ailleurs citée dans le rapport du Ministère de l'Industrie (2006) portant sur « les technologies clés 2010 » comme l'une des technologies porteuses pour le développement économique de la France.

## **DES EFFETS RECONNUS, MAIS MAL DOCUMENTÉS**

**Le caractère photocatalytique étant démontré scientifiquement, les effets dépolluants sont largement reconnus.** Ainsi, certains produits proposés (peintures, purificateurs d'air...) permettent de traiter les impuretés de l'air intérieur, aujourd'hui très pollué par les rejets de l'activité humaine et les produits de notre environnement (désodorisants, mélaminés et autres solvants). Dans un contexte où les maisons sont de plus en plus calfeutrées pour effectuer des économies d'énergie, la photocatalyse peut contribuer à l'abaissement des niveaux émis et permettre de retrouver une bonne qualité d'air intérieur.

Quant aux applications en milieu extérieur (bétons, bitumes, peintures de façade, etc.), elles contribuent à la réduction des pollutions émises par le trafic automobile, avec un abaissement du pic d'ozone (grâce à l'abattement des oxydes d'azote, dans les milieux urbains en été, observé par les cimentiers).

Néanmoins, l'efficacité est fonction de plusieurs facteurs, tels que les conditions climatiques, la nature du support, du polluant... Les connaissances en la matière restent assez parcellaires et globalement insuffisantes : si les effets des ciments (dépolluants) ont été assez bien étudiés, il n'existe par contre aucune donnée chiffrée vérifiable se rapportant aux revêtements applicables en spray. Par ailleurs, si les effets sont réels, il reste à démontrer qu'ils sont bénéfiques (c'est-à-dire supérieurs aux risques potentiels).

## **Le caractère auto-nettoyant apparaît, en revanche, beaucoup moins documenté.**

Un suivi colorimétrique a été effectué par Ciments Calcia, sur la Cité de la Musique de Chambéry, qui s'avère probant : le bâtiment a conservé sa blancheur depuis 2003. Mais il n'existe, par contre, aucune donnée chiffrée permettant de quantifier l'efficacité des produits. En particulier, le bénéfice économique lié à la réduction des frais d'entretiens des façades et des vitres, qui sert souvent d'argument de vente des produits autonettoyants, n'a pas pu être documenté.

On peut noter à titre indicatif que l'estimation du coût annuel pour ravalier les façades à Paris est de 19,2 euros pour chaque parisien, tandis que les dépenses de ravalement de l'ensemble des bâtiments de la région Ile de France sur la base d'un tous les 40 ans sont, selon le plan régional de la qualité de l'air, de l'ordre de quelques centaines de millions d'euros par an<sup>11</sup>. Néanmoins, il est difficile d'utiliser ces chiffres qui correspondent à la restauration des façades, alors que l'usage majoritaire des produits auto-nettoyants (ciments notamment) concerne la construction.

Il faudrait également déterminer, de manière précise, l'économie réelle que permettent ces produits, au regard du surcoût à l'achat. A titre indicatif, les ciments autonettoyants coûtent plus de deux fois plus chers à l'achat, en euros/tonne, que les ciments classiques. Néanmoins, ramenée en euros/m<sup>2</sup>, la facture finale est très proche du coût d'une construction classique, d'après les industriels concernés.

**Pour l'ensemble des produits, la durée de l'efficacité est assez mal connue :** La fonction photocatalytique recherchée dans le cadre du projet PICADA (ciments) doit être normalement conservée pour une durée supérieure à 10 années<sup>12</sup>. Des suivis sont effectués sur certaines applications-pilotes qui s'avèrent probants, mais de nombreux facteurs influent sur la performance et la durabilité de l'efficacité du produit dont il convient de tenir compte. En effet, bien qu'en principe le dioxyde de titane soit constamment régénéré, et de facto actif, l'efficacité du produit final au fil du temps peut quant à elle varier avec, notamment :

- la nature et la composition du produit/matrice : la matrice du produit peut être plus ou moins résistante au temps, influant sur la durée de vie (et d'efficacité) du produit
- la forme sous laquelle le  $\text{TiO}_2$  est incorporé : poudre,...
- les caractéristiques du support : bois, plastique,...
- l'utilisation du produit : par exemple, la photocatalyse étant activée en présence de lumière, les produits perdraient une bonne partie de leur efficacité dans des milieux obscurs, hors de toute source de lumière.
- l'entretien : l'efficacité de certains produits peut être entravée, par exemple si un dépôt se forme en surface (dépôts liés à l'usure des pneus sur les routes qui nécessiteraient, selon les fabricants, d'être nettoyés ponctuellement).
- le contexte d'utilisation du produit : conditions météorologiques, utilisation à l'intérieur/ à l'extérieur, etc.

Pour procéder à une évaluation précise des bénéfices, il importe donc de tenir compte de ces différents paramètres qui restent dans l'ensemble assez mal connus.

### **LE NANO-DIOXYDE DE TITANE, UN MATÉRIAU À LA TOXICITÉ PEU ÉTUDIÉE**

Certains acteurs se demandent si le remède ne serait pas pire que le mal : le  $\text{TiO}_2$  photocatalytique permet la purification de l'air, mais ne constitue-t-il pas lui-même un polluant environnemental plus toxique ?

En fait, en matière de toxicologie, les connaissances scientifiques restent très parcellaires :

- Les études toxicologiques et écotoxicologiques existantes portent sur des nanoparticules de  $\text{TiO}_2$  (produits purs), et non sur les formes composites utilisées dans les produits<sup>13</sup>.
- Aucun inventaire des utilisations permettant de faire un suivi des populations potentiellement exposées (étude épidémiologique) spécifiquement aux nanoparticules de  $\text{TiO}_2$ .
- Il existe de nombreux trous dans la connaissance, comme le révèle le tableau suivant qui synthétise l'état des connaissances scientifiques en matière de toxicologie et écotoxicologie des nano- $\text{TiO}_2$ , avec en :
  - Rouge : l'absence de données
  - Jaune : la présence de données peu fiables, contradictoires, ou en nombre insuffisant
  - Vert : la présence de données de qualité suffisante pour tirer une conclusion.

<b>Pénétration et accumulation des particules (Toxicocinétique)</b>	
Pénétration dans les organes	Pénétration observée in vivo sur des rats
Pénétration dans les cellules et le noyau	Pénétration observée in vivo
Passage transplacentaire	Passage observé in vivo
Passage dans le cerveau	Passage observé in vivo
Bio-accumulation (organes, cerveau)	Accumulation observée dans les organes et le cerveau in vivo
<b>Toxicologie</b>	
Effets par voie orale (ingestion)	Etudes contradictoires ou peu fiables
Effets par voie respiratoire	Etudes contradictoires ou peu fiables
Effets par voie cutanée	Etudes contradictoires ou peu fiables
Reprotoxicité	Absence de données
Génotoxicité	Absence de données
Cytotoxicité	Absence de données
Etudes épidémiologiques	Absence de données
<b>Ecotoxicologie</b>	
Comportement dans les milieux	Absence de données
Biodisponibilité	Absence de données
Effets sur les algues	Stress oxydant (1mg/l – 1h de contact)
Effets sur les plantes	Germination et croissance
Effets sur les poissons	Inflammation, stress respiratoire et effets génotoxiques
Effets sur les micro-organismes	Toxicité avérée, mais résultats variables
Effets sur les invertébrés aquatiques	Etudes contradictoires ou peu fiables

Etant donné le nombre de données manquantes ou contradictoires, la communauté scientifique peine à tirer des conclusions. La toxicité des nano-dioxydes de titane fait ainsi l'objet de discussions entre scientifiques et, plus largement, entre les différentes parties prenantes (voir plus bas).

### **D'UN PRODUIT À L'AUTRE, LES RISQUES ÉVENTUELS NE SONT PAS LES MÊMES...**

En réalité, il existe plusieurs types de nano-dioxydes de titane, qui varient par leur taille, leur forme, leur efficacité photocatalytique, etc., et donc leur toxicité potentielle ! Les formes les plus communément utilisées, pour la photocatalyse, sont l'anatase (forme la plus active) ou un mélange d'anatase et de rutile, résultant de certains process de fabrication, et qui apparaît plus efficace que la forme anatase seule.

En fonction des types utilisés, certains produits sont certainement plus dangereux que d'autres. Mais le secret industriel ne permet malheureusement pas d'avoir d'informations précises sur les formes physico-chimiques du dioxyde de titane utilisées sous formes nanoparticulaires ou sous formes agglomérées.

D'un produit à l'autre, il y a un autre paramètre important qui peut varier considérablement : c'est **l'exposition au produit**, le fait qu'il rentre ou non en contact avec le corps humain ou l'environnement. Car, aussi dangereux que soit un produit, il n'y aura pas de risque si on parvient à l'utiliser dans de bonnes conditions, en évitant ou en limitant les expositions : par exemple, de l'arsenic contenu dans un bocal étanche n'induit pas de risque ; si le flacon se rompt, par contre, il y a là un risque important pour les personnes qui pourraient se situer à proximité, et pour l'environnement

Les expositions sont liées aux différentes phases du **cycle de vie**. On peut distinguer 3 étapes principales : production et mise en œuvre, utilisation, et élimination.

- Au moment de la production et de la mise en œuvre, ce sont surtout les professionnels qui sont concernés : **l'exposition au moment de l'application semble limitée, si les conditions de mise en œuvre (protections) sont bien respectées**, ce qu'il n'a pas été possible de vérifier. Certains producteurs précisent faire appel à du personnel spécialisé pour l'application de leurs produits. Il existe par contre plusieurs produits (peintures, sprays...), actuellement disponibles en vente libre, avec le risque que des particuliers les utilisent sans aucune protection, ce qui est problématique.
- **Pendant l'utilisation normale des produits, le risque d'exposition directe de la population apparaît peu probable** dans la mesure où les produits utilisés sont fortement adhérents aux supports : le fait de toucher les murs, vitres et autres objets dotés de revêtements photocatalytiques ne semble pas pouvoir être considéré comme une activité à risques, au vu des données disponibles. Pour la population, ce qui apparaît plus problématique, c'est plutôt les moments d'intervention (entretien, réparation) sur les produits, s'ils ne sont pas pratiqués dans de bonnes conditions.
- **Il existe, par contre, une exposition potentielle de la population imputable aux émissions liées notamment au phénomène d'usure naturel des produits** : au fil du temps, il est probable que certains revêtements s'abîment et rejettent dans l'environnement des nanostructures. Ici, tout dépend de la nature du produit, de sa résistance au temps, de la qualité de l'intégration du  $\text{TiO}_2$ ... De ce point de vue, **les vitres sembleraient induire moins d'émissions que les ciments, eux-mêmes bien plus résistants que les peintures et sprays**.

#### ETAT DES LIEUX DES PRINCIPALES DONNÉES ET INCERTITUDES<sup>1</sup>

Pour l'heure, seuls des risques potentiels/théoriques peuvent être identifiés par les scientifiques. Plusieurs signaux de danger et/ou incertitudes apparaissent mériter une attention particulière, à savoir :

- **La forte capacité de pénétration et d'accumulation des nanoparticules de dioxyde de titane** : compte tenu de leur petite taille, les nanoparticules peuvent franchir la plupart des barrières biologiques et pénétrer ainsi dans les parties du corps les plus sensibles : noyau des cellules, organes vitaux (foie, rate, poumons, rein, cerveau...), placenta... Une fois présentes dans le corps, les nanoparticules ont de plus tendance à s'y accumuler, ce qui rend envisageable des dommages<sup>14</sup>.
- **La facilitation de la pénétration dans le corps de polluants et autres composés toxiques** : certains acteurs craignent, en effet, un possible effet de vecteur de contamination (effet "cheval de Troie") en raison de la capacité des nanoparticules à fixer des polluants, notamment des cancérigènes, ou encore des endotoxines. Les nanoparticules pourraient ainsi faciliter l'action d'autres polluants, en favorisant leur passage dans tout l'organisme...
- **Les concentrations attendues dans l'environnement, qui sont loin d'être négligeables** : d'après des estimations réalisées par certains scientifiques, le  $\text{TiO}_2$  serait déjà

<sup>1</sup> Cet état des lieux est fondé sur l'étude des catégories de produits suivantes : ciments, peintures, enduits, vernis et vitres.

présent dans l'environnement en quantité suffisante, pour constituer un danger.<sup>15</sup> Néanmoins, les scientifiques connaissent mal :

- *l'origine et la forme du TiO<sub>2</sub> présent dans l'environnement* : quelle est la part réelle des revêtements de surface dans les rejets de substances (par rapport, par exemple, aux crèmes solaires) ?
- *l'impact possible de ces nanoparticules sur les différents milieux* : le comportement du TiO<sub>2</sub> dans l'environnement est mal connu, il conditionne notamment la conservation des propriétés photocatalytiques. Par exemple, en milieu terrestre : le TiO<sub>2</sub> va-t-il rester au contact du sol (donc conserver ses effets photocatalytiques) ou bien migrer vers les sédiments où il est moins exposé aux UV, mais capable d'interagir avec les composants du milieu (minéraux...) ? En milieu aquatique, le manque de rayonnement UV réduit le risque de photocatalyse par les nanoparticules de TiO<sub>2</sub>, mais quelle serait l'influence des interactions avec les autres composés du milieu sur les propriétés du TiO<sub>2</sub> ? d'autant que les propriétés catalytiques du nano TiO<sub>2</sub> sont conservées dans une certaine mesure. Quel impact sur les stations d'épuration ?
- **Les effets indirects de la photocatalyse méritent également une attention particulière** : lors de la réaction photocatalytique, les polluants de l'air ne sont pas anéantis, mais réduits, c'est-à-dire décomposés en des éléments plus petits : de l'eau (H<sub>2</sub>O), du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), mais aussi parfois des éléments qui restent toxiques : ainsi, certaines études s'inquiètent des possibles productions d'acide nitreux<sup>16</sup>. Celles-ci ont été étudiées dans le cas des peintures et les résultats font état de rejets qui semblent minimes.<sup>17</sup> Ce type de rejet n'a pas encore été étudié pour les autres types de revêtements<sup>18</sup>. En milieu intérieur, la photocatalyse peut aussi générer du formaldéhyde ou de l'HONO, dans certaines conditions<sup>19</sup>.

## APPROCHE PAR PRODUITS

En l'absence des données scientifiques nécessaires, l'établissement d'un rapport bénéfices/risques objectif est impossible à l'heure actuelle, mais plusieurs éléments peuvent être mis en exergue :

- **Ciments, bétons et bitumes :**
  - La mesure de l'effet dépolluant donne des résultats variables, en fonction des polluants et des conditions d'expérimentation<sup>20</sup>. A Genève, il a été estimé que le taux de dioxyde d'azote pourrait respecter la limite de 30 µg/m<sup>3</sup> si un tiers des surfaces disponibles (façades, chaussées,...) était recouvert d'un produit photocatalytique (sans préciser toutefois quel(s) produit(s) ont été considérés pour ce calcul). L'efficacité du caractère autonettoyant est moins étudiée. Certains auteurs considèrent que de tels revêtements ne devraient pas être appliqués sur des zones piétonnes, du fait de la perte d'efficacité due aux salissures (poussières, résidus de chewing-gum...).
  - Selon les informations transmises par les cimentiers, à ce jour, leurs produits photocatalytiques ne sont accessibles à la vente qu'aux professionnels, pour une mise en œuvre sur des ouvrages relevant du cadre du tertiaire (pas de maisons individuelles), ou pour des routes et aménagements urbains. Dans ce contexte, l'exposition potentielle de la population serait essentiellement imputable aux émissions liées notamment au phénomène d'usure naturel des produits ; les données

disponibles tendent jusqu'ici à indiquer que le risque d'exposition pour la population reste peu probable.

- **Peintures, enduits, vernis et sprays :**

- Peu de données scientifiques concernant les effets dépolluants et aucune donnée concernant de possibles effets autonettoyants, antibactériens ou antifongiques.
- Les éventuelles expositions liées à une mauvaise utilisation (en trop grandes quantités, ou non respect des conditions d'utilisation...) ou à des protections inappropriées ou insuffisantes méritent d'être surveillées, d'autant que certains produits sont en vente libre sur le marché.
- Les émissions dans l'environnement liées au phénomène d'usure des produits méritent aussi d'être surveillées.
- Enfin, les utilisations en milieu intérieur nécessitent une attention particulière (risque de formation de formaldéhyde et d'HONO, si les produits ne sont pas utilisés dans des conditions satisfaisantes).

- **Vitres :**

- Peu de données scientifiques concernant l'effet autonettoyant et pas de données concernant l'assainissement de l'air
- L'exposition de la population et de l'environnement ne devrait pas se poser dans le cas des vitres, de par la forte intégration du  $\text{TiO}_2$  à la matrice. L'attention mérite d'être davantage portée à la fabrication (protection des travailleurs) et à la fin de vie (recyclage, mise en déchets) des produits.

## 2.2. LES REVÊTEMENTS AU NANO-ARGENT

### DES PROPRIÉTÉS ANTIBACTÉRIENNES CONVOITÉES

L'argent de façon générale est utilisé depuis des siècles pour ses propriétés désinfectantes. Il est considéré comme efficace contre de nombreuses bactéries, y compris certaines résistantes aux autres antibiotiques, et inhibe également l'activité et la croissance des moisissures.

A l'échelle nanométrique, les effets bactéricides de l'argent sont augmentés du fait du nombre plus important d'ions argent libérés, ce qui permet, *in fine*, de limiter la quantité d'argent utilisée.

Sous forme nanométrique, l'argent acquiert des propriétés antivirales et également anti-inflammatoires.

Trois grandes catégories de bénéfices sont recherchées, grâce aux propriétés listées ci-dessus :

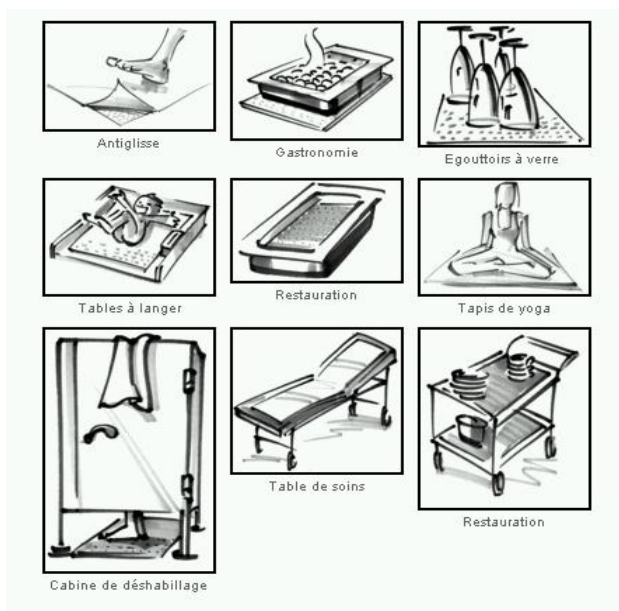
- **Amélioration de l'hygiène** en désinfectant les surfaces, notamment dans les milieux hospitaliers, mais aussi dans des lieux ouverts au grand public (crèches ou maisons de retraite par exemple)
- **Confort** : lutte contre les odeurs, dans de nombreux produits du quotidien, tels que les réfrigérateurs ou les textiles
- **Bénéfice clinique**, en optimisant la guérison des plaies : lutte contre les micro-organismes, contre la formation de biofilms à la surface des plaies, activité anti-inflammatoire

A noter : le nano-argent est doué d'autres propriétés (réflectives, conductrices ou anti-coagulantes) qui sont étudiées et convoitées pour d'autres types d'applications non prises en compte dans cette étude<sup>21</sup>.

### DES DÉVELOPPEMENTS TOUS AZIMUTS

Le nano-argent a d'abord été utilisé pour des **applications médicales** (dans certains pansements par exemple ou dans les revêtements de surface en milieu hospitalier), pour prévenir de manière plus efficace les risques d'infections par prolifération bactérienne.

**De multiples applications nouvelles se développent également depuis quelques années, dans quasiment tous les secteurs industriels, et notamment dans les produits de consommation courante**, comme des appareils électroménagers, des produits textiles, des tétines pour bébé, des emballages alimentaires, des poignées de porte, etc.



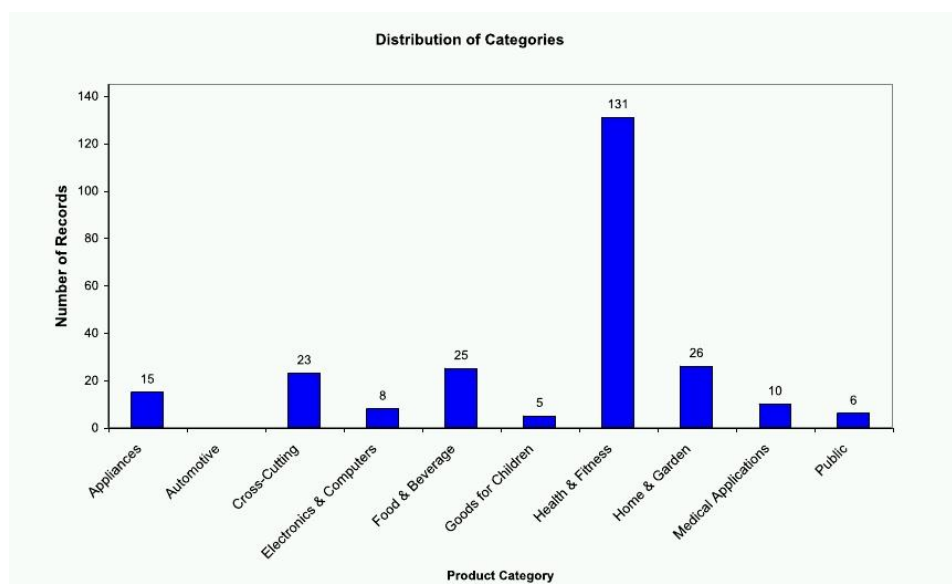
Source : NanoSan <http://www.cenano.fr/nanoproduits/information-produit/nano-san-r/domaines-dutilisation/>



**Venue d'Asie, la vogue des produits antibactériens et au nano-argent notamment est en forte augmentation en Occident.** Elle bénéficie d'un engouement fort du grand public pour des produits antibactériens : sur 1015 produits de consommation courante référencés en 2009 dans l'inventaire du Project on Emerging Nanotechnologies du Woodrow Wilson Center, 259 (soit plus de 25 %) contiennent du nano-argent.

Sur le marché français, le phénomène est moins visible, mais pourtant bien réel : dans le cadre de son expertise « Evaluation des risques des nanomatériaux pour la population générale et pour l'environnement », l'agence sanitaire ANSeS (ex-AFSSET) a repéré 70 produits au-nAg présents sur le marché français (sur un total de 246 produits recensés), cet inventaire n'ayant pas prétention à être exhaustif.

Cependant, aucun produit fabriqué en France n'a pu être repéré, en compilant les différents inventaires disponibles : **les produits au nAg sont principalement fabriqués sur les marchés asiatique** (Corée du Sud, Chine, Japon, Taiwan, Thaïlande, Singapour) **et nord-américain** (USA, Canada). Côté Europe, quelques producteurs sont répertoriés en Allemagne et au Royaume-Uni. On en trouve également en Iran et en Nouvelle-Zélande<sup>22</sup>.



Source : Emma Fauss, The Silver Nanotechnology Commercial Inventory, Septembre 2008  
[http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/6718/fauss\\_final.pdf](http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/6718/fauss_final.pdf)

## ZOOM SUR QUELQUES PRODUITS AU NANO-ARGENT

Au cours de ces cinq dernières années, les nanoparticules d'argent se sont largement développées dans le secteur de **l'électroménager grand public**. Toutes les grandes marques d'électroménager présentes sur le marché français, quasiment toute étrangères, offrent une gamme antibactérienne. La grande majorité utilise de l'argent sous forme submicronique (nanoparticules d'argent ou ions argent). La technologie No Frost – **parois antibactériennes des appareils électroménagers** –, participe des réponses proposées par les industriels aux attentes de leurs clients en matière environnementale et économique. Elle est passée de 15,3 % des ventes valeur en 2002 à 30,7 % en 2008.<sup>23</sup>

Les parois antibactériennes sont utilisées notamment pour **les parois des réfrigérateurs, les tambours ou les cuves des machines à laver, ou encore les aspirateurs « sans sac »**, dont le réservoir qui collecte la poussière est souvent revêtu de nanoparticules d'argent. Des climatiseurs



revendiquent également la présence de nanoparticules d'argent qui vont provoquer l'élimination des bactéries (filtres à air).

On les retrouve également sur des revêtements de matériel informatique : **ordinateurs portables, téléphones portables, souris d'ordinateurs** : depuis mai 2008, tous les ordinateurs grands publics de la marque Samsung Electronics (Q45 XEV 8120 ; R60 XEV 5555W ; R700 XEV 5551) intègrent une technologie Nano Silver antibactérienne.<sup>24</sup>

Par ailleurs, on trouve aujourd'hui sur le marché de nombreuses marques de **chaussettes et bas antibactériens** contenant de l'argent afin de prévenir la prolifération des bactéries responsables des odeurs, parfois en association avec un polymère qui absorbe les émanations résiduelles. Outre leurs propriétés anti-odeurs qui les destinent à un large marché, ces chaussettes peuvent être ciblées sur un marché spécifique : celui des diabétiques, pour éviter les infections<sup>25</sup>.

Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes également intéressés aux **pansements antibactériens à l'argent**, qui, pour la plupart sont en vente libre<sup>26</sup> en France. Le pansement "Acticoat"<sup>27</sup> par Smith and Nephew, contient du nano-argent (Nucryst, Wakefield, MA, USA). Il aurait atteint 25 millions de dollars de ventes dans la seule année 2004<sup>28</sup>. Pour resituer par rapport au marché global, le marché des soins de plaie (pommades et pansements) a été estimé à une valeur d'environ 3 milliards de dollars en 2004<sup>29</sup>. (Voir, à titre indicatif, en annexe 2 la liste des produits identifiés).

## DE TRÈS GRANDES VARIATIONS DANS L'EFFICACITÉ DES PRODUITS

L'efficacité des nano-argents contre les bactéries est établie scientifiquement, bien que son mécanisme d'action ne soit pas encore totalement élucidé. Elle peut varier considérablement en fonction de la nature des formulations ou de la dimension des nano-argents utilisés. Par exemple, associés à du phosphate de calcium, les nano-argents deviennent 1000 fois plus toxiques contre les bactéries que des produits à l'argent classique<sup>30</sup>. D'un produit à l'autre, des écarts très importants peuvent ainsi être observés. Par exemple, concernant les textiles, l'efficacité anti-bactérienne varie de façon drastique, de 0 à plus de 99%. De même, sur une demi-douzaine de pansements identifiés, une grande variété dans l'efficacité est observée<sup>31</sup>.

Par ailleurs, la durée de l'efficacité peut être très variable, en lien avec la tenue des nano-argents sur le support. Ainsi, le nAg contenu dans les textiles part facilement dans les eaux de lavage : suite à l'équivalent d'un cycle en machine à laver, pour certains textiles, la plupart de l'argent initialement intégré se désolidarise du textile auquel il était intégré, même si des disparités sont observées d'un textile à l'autre.

Dans l'ensemble, l'efficacité des différents produits est assez peu documentée : ainsi, il n'existe aucune étude concernant les revêtements d'appareils électroménagers, par exemple. L'efficacité des pansements au nano-argent a été elle davantage étudiée.

## TOXICITÉ ET ÉCOTOXICITÉ DU NANO-ARGENT : DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES TRÈS PARCELLAIRES

Les connaissances et incertitudes ont été mises en évidence à l'aide d'un code couleur, symbolisant :

- Rouge : l'absence de données
- Jaune : la présence de données peu fiables, contradictoires, ou en nombre insuffisant
- Vert : la présence de données de qualité suffisante pour tirer une conclusion.

<b>Toxicocinétique</b>	
Pénétration cutanée	Oui (in vitro) : 0,0006% d'absorption
Passage dans la circulation sanguine	Peu de données
Pénétration dans les organes	Peu de données : pénétration dans le foie
Bio-accumulation (organes)	Absence de données
<b>Toxicologie</b>	
Génotoxicité	Négatifs in vivo par voie orale. Lésions de l'ADN in vitro, à de faibles concentrations (25µg/ml)
Génération d'ERO	Oui (in vitro)
Cytotoxicité – In vitro	Oui : apoptose (in vitro) – Pas de données in vivo
Reprotoxicité	Absence de données
Allergénicité : irritation/ sensibilisation	Absence de données
Toxicité aigüe/ chronique par voie cutanée	Absence de données
<b>Ecotoxicologie</b>	
Comportement dans les milieux	Influence de la salinité ?
Biodisponibilité	Résultats divergents
Concentrations dans l'environnement	Absence de données
Effets sur les micro-organismes	Concentrations maximales sans effet : 2-20ppb
Phénomène de résistance bactérienne	Probable à long terme et à des doses sub-létales
Effets sur les champignons	Oui : Par destruction de l'intégrité membranaire
Effets sur les algues	Oui : Toxicité plus importante pour la forme nano chez les algues d'eau douces
Effets sur les plantes	Toxicité faible à nulle jusqu'à 116µg/ml
Effets sur les poissons	Oui : Inflammation, stress oxydant, dommages des cellules et de l'ADN, malformations embryonnaires...
Effets sur les nématodes	Oui : Diminution du pouvoir reproducteur

## ETAT DES LIEUX DES PRINCIPALES DONNÉES ET INCERTITUDES <sup>2</sup>

### • Des effets à surveiller sur l'environnement

L'argent de façon générale n'est pas facilement éliminable. Il présente une grande persistance dans l'environnement, il s'accumule dans l'eau, les sédiments, les sols et les organismes. Il est considéré comme l'un des métaux les plus toxiques pour les plantes, les phytoplanctons, ainsi que pour les poissons et organismes aquatiques.

A l'heure actuelle, la destruction par le nano-argent de bactéries vitales importantes dans le fonctionnement et l'équilibre des écosystèmes (dégradation de matière organique, transformation, recyclage de nutriments) mais aussi du fonctionnement des boues activées des stations d'épuration des

<sup>2</sup> Cet état des lieux est fondé sur l'étude des catégories de produits suivantes : textiles, pansements et revêtements des appareils électroménagers et informatiques.

eaux usées reste fortement redoutée<sup>32</sup>. Cependant, les multiples facteurs abiotiques présents dans ces environnements, la salinité notamment, pourraient diminuer la toxicité du nano-argent vis-à-vis des bactéries<sup>33</sup>.

L'AFSSET considère ainsi que l'argent utilisé sous ses différentes formes chimiques constituera certainement un risque pour l'environnement, même s'il n'est pas mesurable actuellement. Pour l'heure, concernant le nano-argent, il a été estimé, au vu des concentrations attendues, que le risque pour l'environnement (air, eau et sols) devrait demeurer faible<sup>34</sup>. Les incertitudes suivantes apparaissent prioritaires à lever :

- Quelle est la quantité des nanoparticules d'argent présentes dans l'environnement ?
- Comment les nanoparticules d'argent se comportent dans les différents milieux ?
- Quels seront les impacts sur l'eau et sur les stations de traitement des eaux usées, en cas de multiplication du nombre de produits au nano-argent ?

#### • **Ca pénètre par la peau ou pas ?**

Les nanoparticules d'argent sont susceptibles d'atteindre davantage d'organes que des microparticules, et par la suite d'y exercer des effets bactéricides<sup>35</sup>.

Cependant, le potentiel de pénétration dans le corps a été très peu étudié, notamment la voie cutanée : bien que nous sachions que la petite taille de la particule facilite la pénétration de la peau, des études ont montré in vitro que l'absorption de nanoparticules d'argent à travers la peau humaine intacte reste faible (0,0006% d'absorption). De plus, l'argent aurait tendance à réagir directement avec son environnement (en particulier avec les protéines), plutôt que de pénétrer et circuler dans le corps (d'où son utilisation en anti-bactérien local)<sup>36</sup>. On craint cependant une pénétration plus importante lorsque la peau est lésée, notamment lors de l'usage de produits tels que les pansements Acticoat<sup>37</sup>.

#### • **Y a-t-il une résistance bactérienne à l'argent ?**

Des interrogations existent sur l'augmentation possible des résistances bactériennes à l'argent et à certains antibiotiques majeurs, tels que les bêta-lactamines qui représentent 50% des prescriptions médicales. Bien que certains scientifiques estiment que ces phénomènes de résistance sont peu probables, plusieurs études soulignent la possibilité du développement de sélection ou de résistance bactérienne.

#### • **Ne risque-t-on pas de perturber des équilibres biologiques utiles ?**

L'utilisation d'antiseptiques cutanés peut concourir à déséquilibrer la flore bactérienne de la peau et provoquer ainsi l'apparition de souches bactériennes nocives, qui prolifèrent sur la place laissée vacante par les bactéries éliminées, ce qui peut se traduire par des réactions de type eczéma. Certains scientifiques s'interrogent sur les effets pour la santé du recours de plus en plus important à des produits antibactériens : si une bonne hygiène permet d'éviter de nombreuses pathologies, quelques immunologistes signalent un possible lien entre l'aseptisation de nos milieux de vie et la recrudescence de certaines maladies contre lesquelles les individus n'auraient pas pu s'immuniser (asthme<sup>38</sup>, maladies auto-immunes...).

## APPROCHE PAR PRODUITS

En l'absence des données scientifiques nécessaires, l'établissement d'un rapport bénéfices/risques objectif est impossible à l'heure actuelle, mais plusieurs éléments peuvent être mis en exergue :

- **Revêtements d'appareils électroménagers :** en l'absence de données scientifiques,
  - l'estimation des bénéfices demeure principalement subjective,
  - le potentiel d'exposition humaine est à ce jour considéré comme faible, mais les données disponibles sont insuffisantes pour une évaluation des risques.
  - une attention particulière devra être portée à la fin de vie du produit : élimination, recyclage,...
- **Textiles (chaussettes) :**
  - l'intérêt présenté par ces produits serait davantage d'ordre social (confort,...) que de santé publique. Il est difficile d'évaluer l'impact personnel et social de la désodorisation des pieds en termes d'hygiène et de confort social en relation avec les risques de réactions de contact à l'argent et de la dissémination dans l'environnement.
  - les risques potentiels rapportés jusqu'à présent concernent les éventuels effets d'un contact cutané prolongé avec ces produits, et les rejets de (nano-)argent dans l'environnement.
- **Pansements :**
  - le bénéfice escompté serait important dans certains cas (soins des grands brûlés, plaies chroniques,...), tandis que la pertinence de leur utilisation dans d'autres situations reste contestée.
  - bien que certains scientifiques estiment que ces phénomènes resteraient peu probables, plusieurs études soulignent la possibilité du développement de sélection ou de résistance bactérienne.

## II- POINTS DE CONTROVERSE

### 2.1. MAIS, AU FAIT, C'EST NANO OU PAS ?

*Eclairages sur les problèmes actuels d'identification des nanomatériaux en l'absence de définition et d'obligation de déclaration*

Dans le cadre de cette étude, nous avons essayé de repérer les produits présents sur le marché français, dont la surface est dotée de propriétés photocatalytiques et/ou antibactériennes, grâce à un traitement au nano-dioxyde de titane et/ou au nano-argent. Mais, en réalité, il est difficile de savoir, au cas par cas, si un produit contient bien des nanomatériaux, et ce, pour plusieurs raisons.

Tout d'abord, en l'absence de réglementation spécifique, **les industriels n'ont aucune obligation de communiquer sur la présence de nanomatériaux dans les produits qu'ils développent.** Dans un contexte social incertain, marqué par des interrogations grandissantes sur les risques sanitaires et environnementaux des nanotechnologies, **certains industriels préfèrent ne pas communiquer sur ces développements**, car ils craignent de possibles réactions de rejet de la part de la population<sup>39</sup>. La tendance actuelle semble, du reste, caractérisée par un repli grandissant, qui se traduit par la disparition de la référence à ces technologies sur certains supports de communication<sup>40</sup>.



Pour éviter de faire mention explicite de la présence de nanomatériaux dans leurs produits, les industriels peuvent choisir, par exemple, de recourir à des termes techniques plus généraux : ainsi, les nanoparticules sont-elles être souvent décrites comme des « **particules très fines** » ou « **ultra-fines** », ce qui, sans être inexact, présente l'avantage d'éviter une éventuelle méfiance du public<sup>41</sup>. De manière assez similaire, de nombreux industriels commercialisant des produits au nano-argent préfèrent communiquer sur la présence d'ions argent (voir plus bas). Cette situation rend, bien entendu, problématique le repérage des nanoproducts.

#### **Zoom sur une difficulté de repérage : le cas des ions argent et des nano-argents**

Comme d'autres produits antibactériens à l'argent, les nano-argents tirent l'essentiel de leur action biocide de la libération d'ions argent : ainsi, une particule d'argent de 9 nm peut libérer jusqu'à 24 000 ions d'argent (atomes d'argent électriquement chargés).

Certaines marques préfèrent donc mentionner la présence d'ions argent, plutôt que celles de nanoparticules d'argent. Or, la présence d'ions d'argent ne permet pas d'inférer celle de nano-argent (les ions peuvent en effet aussi résulter de la solubilisation de sels d'argent, qui ne sont pas nanométriques !<sup>42</sup>).

Par ailleurs, **il n'y a pas une définition consensuelle des nanomatériaux mais plusieurs, produites par chaque acteur, ce qui ne facilite pas la compréhension mutuelle.** On assiste ainsi à des querelles sémantiques entre les différentes catégories d'acteurs.

Par exemple, il existe des **divergences d'approche concernant les agglomérats de nanoparticules** : lorsqu'un produit contient non pas des nanoparticules libres mais des agrégats de nanoparticules de taille micrométrique (comme cela semble être le cas pour les surfaces photocatalytiques au dioxyde de titane), faut-il encore parler de nanomatériaux ?

### **Zoom sur une controverse sur les définitions: le cas des agrégats et agglomérats de nanoparticules**

Pour la plupart des industriels, les agrégats et agglomérats ne rentrent pas dans le champ des nanomatériaux, car leur taille est supérieure à 100 nm. Dans le cadre des discussions menées au sein de l'International Organisation for Standardisation (ISO) l'industrie chimique allemande notamment s'est ainsi opposée à ce que les agrégats ou agglomérats de substances de taille nanométrique soient inclus dans la terminologie nano.

Les scientifiques et de nombreux représentants de la société civile ont plutôt tendance à penser, au contraire, que les agrégats et agglomérats doivent être considérés comme des nanomatériaux. En effet, bien que de plus grande taille, les agglomérats de  $\text{TiO}_2$  conserveraient néanmoins leur efficacité photocatalytique (qui intéresse les industriels)<sup>43</sup>, grâce à leur structuration particulière à l'échelle nanométrique : la forme agglomérée présente ainsi un ratio surface/volume plus important qu'un matériau microstructuré, d'où des propriétés comparables à celles des nanoparticules isolées (voir schéma ci-dessous). De plus, en solution, les agrégats peuvent être modifiés voire même disparaître en fonction des conditions (agitation du milieu, effet de dilution...). Commandités par le Parlement européen et la Commission européenne, deux rapports scientifiques promeuvent ainsi une définition large du terme "nanomatériau", avec un seuil plafond pouvant excéder les 100 nanomètres, et préconisent la prise en compte des agrégats et agglomérats de nanoparticules parmi les nanomatériaux<sup>44</sup>.

En images : voici quelques exemples de schématisation visant à illustrer cette question du ratio Surface / Volume



Assimilons des nanoparticules libres « libres » à des bouquets de chou-fleur : le ratio surface / volume est relativement important

Agglomérés, ces bouquets forment le chou-fleur, pour lequel le ratio surface/volume est certes moindre que pour les bouquets séparés, mais tout de même plus important que...

... celui d'un ballon de volley-ball qui pourrait être assimilé ici à notre matériau macrostructuré, pour lequel le ratio surface/volume est plus faible

Ces questions de définition sont actuellement discutées au sein de différentes instances (voir plus bas). Derrière ces aspects techniques souvent très pointus, il existe en fait des enjeux importants pour le secteur économique, qui craint des évolutions réglementaires trop contraignantes. **Avec une définition très restrictive**, se contentant par exemple d'une taille de 1 à 100 nanomètres, **un certain nombre de produits industriels d'une taille de 101 nanomètres pourraient échapper à la réglementation... A l'inverse, une définition trop étendue pourrait être préjudiciable aux acteurs économiques**, en incluant par exemple des matériaux utilisés depuis longtemps.

Enfin, par-delà ces questions de définition, il reste des **polémiques sur la présence ou non d'agrégats de nanoparticules dans les différents produits considérés**.

#### **Zoom sur une controverse : en dessous de quelle taille le dioxyde de titane a-t-il des propriétés photocatalytiques ?**

Par exemple, il existe des divergences entre les experts scientifiques et les industriels au sujet de la structuration du  $\text{TiO}_2$  dans les produits photocatalytiques<sup>45</sup>. Pour certains scientifiques, il ne peut exister de propriétés photocatalytiques sans structuration nanométrique : les études trouvées dans la littérature tendent à indiquer qu'il existe une taille optimale limite au-delà de laquelle la photocatalyse perd en efficacité (100 nm, voire moins). Almquist *et al.*, (2002) ont défini l'optimum de taille pour la photo-oxydation entre 25 et 40 nm<sup>46</sup> alors que Wang *et al.* (1997) situent cet optimum aux alentours de 11 nm<sup>47</sup>.

Au contraire, selon la Fédération française de la photocatalyse, qui s'appuie sur les informations transmises par les fournisseurs de  $\text{TiO}_2$ , les agrégats utilisés ne seraient pas nécessairement composés de particules nanométriques.

Ces querelles sur les définitions et sur la présence de nanomatériaux dans les produits requièrent, pour être comprises, un bon bagage scientifique et une excellente connaissance des enjeux. Malgré la complexité de ces questions, il nous semble indispensable que les citoyens s'en emparent, pour peser dans la mise en place de réglementations et de mesures de précaution adaptées.

## **2.2 LES RISQUES SONT-ILS IMPORTANTS ?**

Comme mentionné plus haut, il existe encore de nombreuses incertitudes scientifiques concernant les propriétés et les effets des nano-dioxydes de titane et nano-argents sur la santé et sur l'environnement. Ce contexte d'incertitude est propice à alimenter bien des débats, concernant les effets possibles des nanomatériaux.

Au-delà des questionnements purement scientifiques listés plus haut, **les points de désaccord concernent surtout la perception des éventuels risques : la probabilité que surviennent des dommages est-elle importante, ou au contraire négligeable ?** Quelle pourrait être l'ampleur de ces éventuels dommages ? En cas de survenue de dommages, la situation serait-elle irréversible ou existerait-il, au contraire, des moyens de remédiation ?

**Ces questions sont importantes, car elles vont contribuer à déterminer si, oui ou non, la situation requiert la mise en œuvre concrète par les pouvoirs publics du principe de précaution.** Si tel est



le cas, il faut esquisser ce que pourraient être des mesures proportionnées à cette situation : l'article 5 de la Charte de l'environnement énonce ainsi que, « 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 dommage. »

## **NANO-DIOXYDE DE TITANE : QUELLE PERCEPTION DES RISQUES PAR LES PARTIES PRENANTES ?**

### ***Point de vue des industriels : le dioxyde de titane, un matériau inerte***

De l'avis de nombreux industriels, le  $\text{TiO}_2$  est un produit inerte<sup>48</sup> : le dioxyde de titane est en effet peu soluble et généralement considéré comme peu toxique<sup>49</sup>. Il n'est, par exemple, pas classé parmi les produits toxiques selon le Catalogue Européen des Déchets. Il existe peu d'effets reliés au  $\text{TiO}_2$  (sans précision de la taille des particules) dans les études de cas et les études épidémiologiques portant sur le  $\text{TiO}_2$  ne fournissent pas d'indice évident d'une augmentation de la mortalité par cancer ou de la mortalité chez les travailleurs exposés aux poussières de  $\text{TiO}_2$ . Certains industriels rappellent que le minerai de  $\text{TiO}_2$  peut exister, dans la nature, sous forme pure, par exemple sur certaines plages australiennes, sans que des effets sur les populations locales aient été observés.

Concernant le passage à l'échelle nanométrique, les industriels de la photocatalyse considèrent qu'en l'absence d'activation par des rayonnements UV, les nano- $\text{TiO}_2$  demeurent inertes : dans des milieux obscurs (dans le corps ou dans l'eau, par exemple), ces particules ne présenteraient donc pas de danger particulier. Sachant que le  $\text{TiO}_2$  est le 10<sup>ème</sup> élément le plus abondant de la croûte terrestre, il apparaît probable que les particules émises aient tendance à migrer vers les sédiments et donc à se « désactiver ». Cet argument est-il valable pour les nanoparticules (quid, par exemple, de la catalyse sans UV ?).

### ***Point de vue de la société civile : des acteurs encore peu positionnés sur le sujet***

La société civile s'est assez peu positionnée sur les risques liés aux utilisations des nano- $\text{TiO}_2$  photocatalytiques : en effet, l'attention s'est plutôt focalisée sur les utilisations des nano- $\text{TiO}_2$  dans les cosmétiques, mais dont la forme et les propriétés sont différentes des cas étudiés ici : le  $\text{TiO}_2$  s'y présente sous forme agglomérée (environ 500 nm) et recouverte d'une couche protectrice qui inactive les propriétés photocatalytiques. Ces utilisations ont fait l'objet de vives controverses, concernant notamment la pénétration cutanée du produit et la pérennité de la couche protectrice censée protéger des éventuels dangers<sup>50</sup>.

### ***Point de vue des agences : la prudence est de mise***

Plusieurs études par voie respiratoire ont révélé des effets liés aux formes micrométrique (0,1 - 10  $\mu\text{m}$  de diamètre) et nanométrique du  $\text{TiO}_2$  (<0,1  $\mu\text{m}$ ). Ainsi des inflammations pulmonaires, des fibroses et cancers du poumon ont été observés chez l'animal, lorsque des quantités suffisantes pour générer une inflammation prolongée atteignent les poumons<sup>51</sup>. En février 2006, le Centre international de recherche sur le Cancer (CIRC) a considéré les résultats des études in vivo suffisantes pour re-classer



le  $\text{TiO}_2$  pigmentaire (200 à 300 nm) et les  $\text{TiO}_2$  ultra-fin (10-15 nm) comme « Agents cancérigènes possible pour l'homme » par inhalation (groupe 2B)<sup>52</sup>.

Par ailleurs, la toxicité des nanoparticules photocatalytiques de  $\text{TiO}_2$  est discutée, au niveau scientifique car :

- Dans certaines situations, le  $\text{TiO}_2$  peut rester actif en l'absence d'UV
- Même en l'absence d'activité photocatalytique, les nano-  $\text{TiO}_2$  pourraient induire des dommages, par exemple en facilitant la pénétration d'autres polluants dans les cellules.

Dans l'ensemble, les agences sanitaires, chargées de fournir aux pouvoirs publics l'expertise nécessaire à la mise en place des politiques adaptées, en appellent à la prudence : en France, l'ANSES (ex-AFSSET), agence française indépendante d'expertise sanitaire, a considéré que, « pour l'homme (voie d'exposition respiratoire) et pour l'environnement, le risque, s'il ne peut être évalué, ne peut pas être exclu en particulier chez les personnes souffrant d'une pathologie respiratoire »<sup>53</sup>.

### ***Zoom sur une controverse concrète : l'utilisation d'agglomérats de nano $\text{TiO}_2$ présente-t-elle moins de risques ?***

Par rapport aux nanoparticules libres, on peut penser que les agglomérats de nano- $\text{TiO}_2$  devraient pénétrer moins facilement les différentes parties du corps (de par leur plus grande taille) et avoir tendance à migrer plus rapidement vers les sédiments (de par leur poids). Il apparaît donc possible que la forme agglomérée induise moins de risques sanitaires et environnementaux que la forme « nanoparticule libre », comme l'affirment de nombreux industriels. Néanmoins, une telle conclusion ne peut être tirée, en l'état actuel des connaissances scientifiques.

Par ailleurs, la stabilité des agglomérats de  $\text{TiO}_2$  reste à démontrer : les données récoltées suggèrent que les nanoparticules de  $\text{TiO}_2$  tendent à former rapidement des agrégats et agglomérats<sup>54</sup> et que ces agrégats tendent à persister plus longtemps en raison de leur mobilité réduite. De fait, la plupart des nanoparticules une fois agrégées ou agglomérées sous forme de poudres ne sont pas faciles à dissocier ou à re-suspendre dans l'air, ce qui laisse envisager une relative stabilité. Néanmoins, il n'est pas établi scientifiquement que les agglomérats de  $\text{TiO}_2$  incorporés dans les produits conservent leur forme dans l'air et dans l'eau.

## **NANO-ARGENT : QUELLE PERCEPTION DES RISQUES PAR LES PARTIES PRENANTES ?**

### ***Point de vue des industriels : le nano-argent n'est pas un matériau nouveau***

En janvier 2009, un groupe de travail "Silver Nanotechnology Working Group (SNWG)"<sup>1</sup> a été créé par le Silver Institute et le Silver Research Consortium afin de soutenir les industriels dans leur effort de promotion du nano-argent auprès du grand public.

Dans une note<sup>55</sup> à l'Agence américaine de Protection de l'Environnement (EPA), le SNWG rappelle que **le nano-argent n'est pas un nouveau matériau** : ainsi, plus de 50 % des produits contenant de l'argent et enregistrés à l'Agence américaine de protection de l'environnement (EPA) contiendraient en fait du nano-argent. Ces données suggèrent que les études effectuées jusqu'à présent concernant l'argent seraient transposables au nano-argent. Le SNWG en infère que les nanoparticules d'argent n'induisent pas de risque supplémentaire par rapport aux autres produits à l'argent, utilisés depuis longtemps, sans qu'aucun problème particulier n'ait été signalé.

Le SNWG considère, par ailleurs, que les tests in vitro actuellement publiés ne sont pas suffisants pour établir la toxicité du nano-argent, car dans l'environnement et au contact de manière organique, de soufre et de poussière par exemple, les propriétés toxiques du nano-argent se verraient désactivées et rendues bénignes.

### ***Point de vue des ONG : certains risques sont sous-évalués***

Alertées par l'appel de deux chercheurs, Asa Melhus et Lars Hylander, qui dès 2006, ont préconisé la mise en place d'une "surveillance internationale du nano-argent"<sup>56</sup>, plusieurs associations de diverses sensibilités (protection des consommateurs, de la santé ou de l'environnement) se sont positionnées pour que les risques liés au nano-argent soient pris en compte :

- Aux Etats-Unis, de puissantes associations comme l'International Center for Technology Assessment (ICTA) militent depuis 2008 pour que le nano-argent soit soumis à la législation des biocides. Elles sont nombreuses à avoir réagi en septembre 2010 à la consultation publique lancée par l'Agence américaine de protection de l'environnement (EPA) concernant sa proposition d'autoriser (au moins provisoirement) la commercialisation d'un produit de marque suisse "HeiQ AGS-20" à base de nanoparticules d'argent, destiné à être utilisé dans les textiles pour lutter contre la prolifération des bactéries et mauvaises odeurs<sup>57</sup>.
- Les Amis de la Terre Australie et Etats-Unis ont également publié en 2009 un rapport<sup>58</sup> alertant sur les multiples risques liés aux utilisations des nano-argents.
- En France, l'Association Santé Environnement France (ASEF) s'est aussi positionnée en faveur du principe de précaution sur le nano-argent notamment<sup>59</sup>



Source : Les Amis de la Terre, 2009

Ces associations interviennent dans le débat pour souligner, notamment, que :

- contrairement à ce que prétendent certains industriels, l'argent, même sous forme non nano, est un métal lourd qui peut être toxique<sup>60</sup>
- les nano-argents ne font pas de distinction entre bonnes et mauvaises bactéries<sup>61</sup>
- les risques de résistance bactérienne à l'argent sont largement sous-estimés<sup>62</sup>
- l'aseptisation de notre environnement, qui conduit à surprotéger nos organismes, en particulier ceux des enfants, a pour effet une baisse de l'immunisation contre des souches bactériennes nocives

présentes sur la peau. Il est possible que cet hygiénisme croissant intervienne pour une part dans la recrudescence de l'asthme et de certaines maladies auto-immunes.

### ***Point de vue des agences sanitaires : la vigilance est de mise***

Dans l'ensemble, les agences sanitaires, chargées de fournir aux pouvoirs publics l'expertise nécessaire à la mise en place des politiques adaptées, en appellent à la prudence :

- En France, l'ANSeS (ex-AFSSET), agence française indépendante d'expertise sanitaire, a insisté sur le risque que le nano-argent représente pour l'environnement<sup>63</sup>. Dans un avis du 12 mars 2010<sup>64</sup>, le Haut Conseil de la santé publique (HSCP), a émis des recommandations de vigilance relatives à la sécurité des nanoparticules d'argent.
- En Allemagne : l'Institut fédéral d'évaluation des risques (BfR), rattaché au Ministère de l'alimentation, de l'agriculture et de la protection des consommateurs, a recommandé, fin 2009 puis en juin 2010, aux fabricants de "*s'abstenir d'utiliser du nano-argent dans les produits de consommation tant que nous ne sommes pas en mesure de garantir l'absence de risques pour la santé*"<sup>65</sup>.

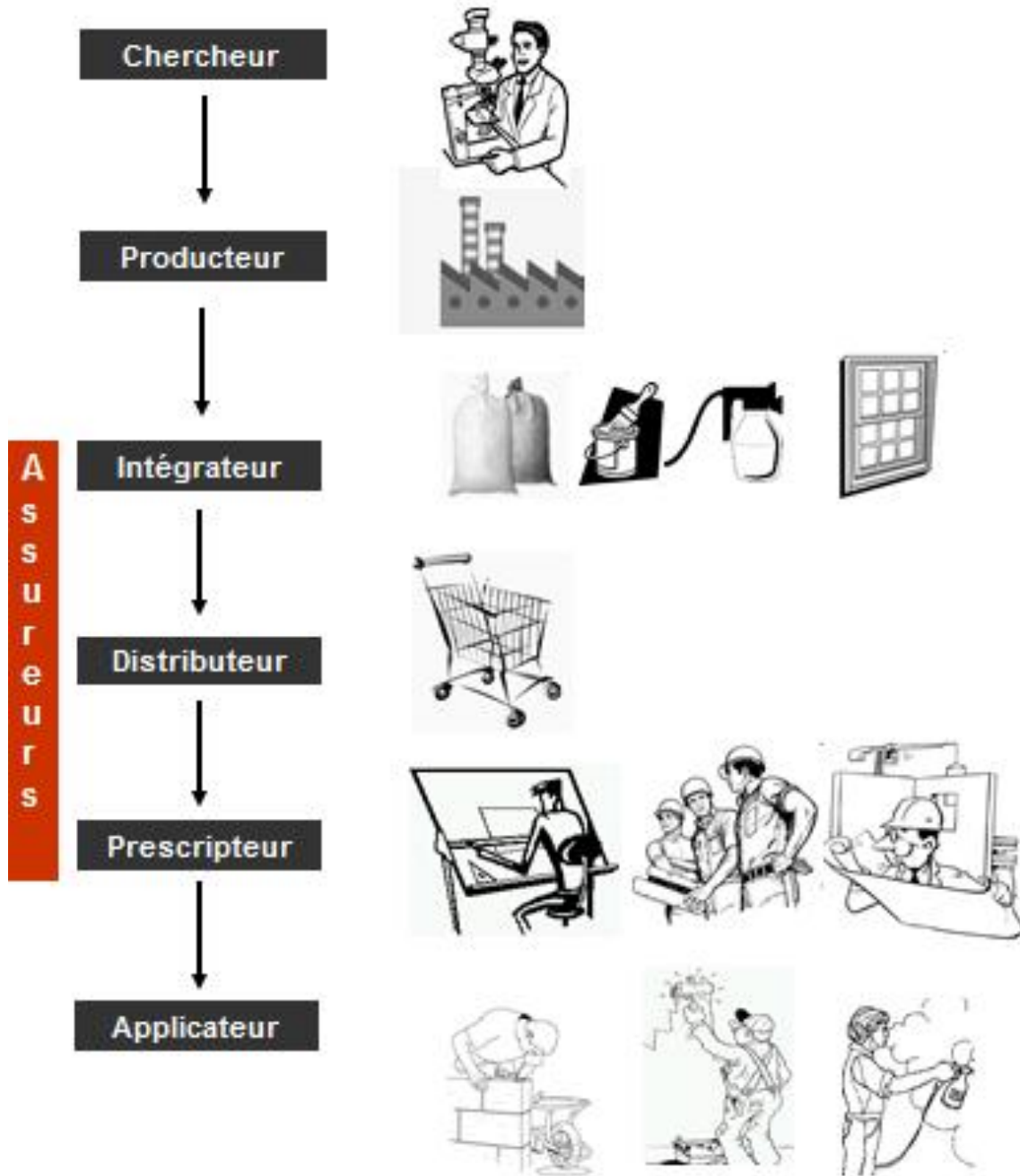
### **QUI ASSURE CES RISQUES ? QUE SE PASSERAIT-IL EN CAS DE DOMMAGES ?**

Les incertitudes concernant les risques pour la santé et l'environnement sont suffisamment fortes pour que les acteurs majeurs de l'assurance – comme Swiss Re dès 2004, ou la Fédération Française des Sociétés d'Assurances (FFSA) plus récemment – refusent de couvrir les risques liés aux nanotechnologies (pour l'instant) : les risques liés aux nanotechnologies font partie des « risques de développement », caractérisés par une grande incertitude et par nature inassurables, car impossibles à évaluer, selon les méthodes traditionnelles.

Plusieurs solutions sont actuellement envisagées, comme la création d'un fonds de « risques de développement » par exemple. Mais, pour l'heure, ne sont donc pas couverts par les contrats d'assurance civile actuels, les risques de mise en cause de la responsabilité des entreprises impliquées dans la fabrication, l'utilisation ou la commercialisation de nanomatériaux ou de produits intégrant des nanomatériaux, pas plus que la mise en jeu de la responsabilité de l'employeur vis-à-vis de ses salariés.

Dans le cas de la survenue de dommages sanitaires ou environnementaux, quel sera le niveau de responsabilité retenu pour les différents acteurs (chercheurs, producteurs, intégrateurs, distributeurs, prescripteurs, metteurs en œuvre, utilisateurs, consommateurs...) ? Est-ce la collectivité qui devra mutualiser le coût des réparations à proposer ? Le nombre souvent important d'intermédiaires entre le producteur initial de nanomatériaux et l'utilisateur final risque de rendre difficile l'attribution de responsabilités.

Les chaînes de production et de responsabilité dans le cas du  $\text{TiO}_2$  :



## 2.3. QUEL RISQUE (OU QUEL DEGRÉ D'INCERTITUDE) PEUT-ON ACCEPTER POUR QUEL BÉNÉFICE ?

### *Controverses autour de la pertinence des innovations*

Dans ce contexte de forte incertitude, la question du risque (ou du degré d'incertitude) qui peut être considéré comme « acceptable » mérite d'être posée : pouvons-nous assumer collectivement de prendre des risques, alors que nous ne savons pas si nous serons à même d'intervenir ensuite pour limiter les possibles dommages ? Pouvons-nous, au contraire, nous priver de certaines innovations majeures, qui présentent des bienfaits réels sur notre santé par exemple, au motif que l'innocuité des produits ne peut être démontrée ?

De nombreux acteurs ont pris position dans ce débat. Les principales positions sont les suivantes :

- « *No data no market* » (pas de données, pas de marché)<sup>66</sup> est la position défendue par de nombreuses associations et syndicats de travailleurs : certains revendiquent un moratoire complet sur la recherche et les développements (par exemple, Les Amis de la Terre) ; d'autres, comme France Nature Environnement, exigent un moratoire partiel sur les nanoproducts, pour supprimer du marché tous ceux, *à usage non médical, qui se trouvent en contact avec le corps humain et l'alimentation*.
- « Laisser faire, laisser passer » : la position libérale affirme qu'en l'absence de preuves scientifiques fermes (comme c'est le cas pour le titane, par exemple), le politique ne doit pas intervenir pour réguler la production, même si des mesures doivent être prises pour empêcher les dommages en aval de la commercialisation.
- « Trions ensemble les usages » : VivAgora défend la nécessité d'une large concertation citoyenne, pour évaluer les avantages sociaux (utilité sociale) des produits et définir au cas par cas, si le jeu en vaut la chandelle. Il s'agit d'éviter de « mutualiser des risques inacceptables ».

Il est clair que la réflexion ne peut être menée à un trop grand niveau de généralité tant les situations (bénéfices et risques) sont variables d'un produit à l'autre : comme on l'a vu précédemment, certains produits, comme des revêtements applicables en spray, des textiles... ont tendance à libérer immédiatement des nano-argents ou des nanotitanes dans l'environnement ; par contre, pour les produits en verre, en plastique, en métal, les risques d'exposition semblent bien plus limités (sauf s'il s'agit de produits en contact avec l'alimentation). Enfin, d'une marque à l'autre, des différences significatives peuvent être signalées, en fonction de l'attention accordée à la qualité et à la sécurisation du produit : s'il existe bien des produits de qualité médiocre sur le marché, comme la chaussette au nano-argent étudiée par l'AFSSET !, il existe aussi des produits de grande qualité, qui présentent une meilleure performance technique et moins de problèmes.

### **Zoom sur le positionnement particulier de l'entreprise néo-zélandaise Fisher et Paykel :**

L'entreprise néo-zélandaise Fisher and Paykel a ainsi choisi de ne pas utiliser de nanoparticules d'argent dans ses machines à laver, contrairement à son concurrent Samsung. Selon des études menées par la première marque, laver des vêtements à 20°C avec de la lessive permet d'éliminer 99,79% des bactéries, contre 99,9% pour la machine à laver SilverCare de Samsung (confirmant les conclusions d'une étude menée en 2005 par le Bureau de protection des consommateurs de Corée était parvenu aux mêmes conclusions). L'entreprise a jugé le gain dérisoire eu égard aux potentiels problèmes que peut poser le nano-argent sur l'environnement<sup>67</sup>.

### **DES BÉNÉFICES POUR QUI ? POUR QUOI ?**

Parmi les produits étudiés, les objectifs visés sont de natures très différentes. Ils peuvent relever de la/du :

- Santé publique (exemple des produits dépolluants, pansements antibactériens pour les grands brûlés...)
- Protection de l'environnement (exemple des produits auto-nettoyants pour réduire les utilisations d'intrants chimiques)
- Confort (exemple des produits auto-nettoyants pour éviter les nettoyages fréquents, textiles anti-odeurs...)
- Amélioration de l'hygiène générale

Une réflexion qui peut être menée concerne **l'utilité réelle du recours au nano-argent ou au nano-dioxyde de titane**, afin de rechercher quel degré d'incertitude est acceptable pour chacune des parties prenantes au regard des bénéfices attendus. Ces questionnements interrogent notre conception du progrès technique et du sens que nous souhaitons lui donner. Il s'agit là de questions politiques, au sens propre du terme, qui concernent notre vivre ensemble et sur lesquelles il est bien entendu difficile de trouver un accord.

### **QUELLE VALEUR AJOUTÉE DES PRODUITS PAR RAPPORT AUX ALTERNATIVES EXISTANTES ?**

Pour alimenter la réflexion, il peut être utile d'explorer les alternatives, techniques ou non techniques, existantes, pour disposer de points de comparaison. Par exemple, des incertitudes existent concernant la valeur ajoutée qu'il y a, pour chacune des parties prenantes et pour la population en général, à développer, distribuer ou utiliser :

- des pansements antibactériens au nano-argent par rapport à d'autres pansements antibactériens existants : ces nouveaux pansements sont-ils vraiment plus efficaces.
- des revêtements antibactériens sur des produits de la vie quotidienne, dans un contexte de contamination globale ambiante, par rapport à l'application de règles d'hygiène simples (nettoyage des mains).
- des revêtements de façade auto-nettoyant au TiO<sub>2</sub>, par rapport à des revêtements de façades intégrant des gravillons de rivière, utilisés depuis longtemps et considérés par les professionnels du bâtiment comme auto-lavables et durables sans entretien.
- des revêtements de façade dépolluants au TiO<sub>2</sub>, par rapport aux murs végétalisés qui permettent aussi de réduire la concentration atmosphérique en polluants (Composés



organiques volatils, oxydes d'azote...) : grâce à la biofiltration et grâce aux végétaux, ces gaz sont absorbés et sont rapidement éliminés dans les tissus végétaux, sans accumulation.

- des purificateurs d'air intérieur pour la maison, par rapport aux techniques de ventilation et à l'ouverture des fenêtres pendant cinq à dix minutes par jour, comme le recommande l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie <sup>68</sup>.

Nombreux sont ceux qui considèrent aberrant de développer des façades et bitumes pour lutter contre les effets du trafic automobile, alors que les efforts collectifs pourraient être mis plutôt au service du renforcement de la lutte contre les origines de la pollution (réduction du trafic automobile, nouvelles énergies...).

### **LES BÉNÉFICES ÉCONOMIQUES SONT-ILS IMPORTANTS ?**

Malgré un travail d'investigation approfondi, force est de constater que nous manquons de données concernant les bénéfices économiques escomptés par les différentes catégories d'entreprises (producteurs, intégrateurs, transformateurs, distributeurs, etc.) avec les nanorevêtements,

Pour l'instant, les produits au dioxyde de titane et au nano-argent restent des marchés de niche, avec une pénétration des marchés encore limitée : dans le bâtiment, par exemple, les produits incluant des nanomatériaux représentent moins de 1% des marchés, d'après un rapport récent de l'Observatory Nano<sup>69</sup>. Les perspectives de marché annoncées dans ce secteur, comme dans d'autres, apparaissent néanmoins exponentielles : estimé à 20 millions de dollars (US) en 2007, il devrait passer à 400 millions de dollars (US) avant la fin de 2017<sup>70</sup>.

Pourtant, selon certains experts, les réalités économiques seraient aujourd'hui en retrait par rapport aux prévisions initiales, notamment en raison du prix de revient élevé (surcoût) de certains nanomatériaux, qui est à justifier en fonction des avantages attendus : par exemple, les nanoparticules d'argent seraient vendues entre 5 000 et 50 000 \$ / kg<sup>71</sup>. Certains utilisateurs, au départ très actifs, auraient aujourd'hui tendance à se retirer de certains marchés. Selon les professionnels, le marché de la photocatalyse resterait néanmoins à fort potentiel, en particulier pour tout ce qui a trait à la purification de l'air et à la production d'hydrogène.

Une étude sera lancée courant 2011 par la DGCIS, qui devrait permettre de mieux connaître le poids industriel des nanomatériaux en France.

### **ANALYSE BÉNÉFICES/ RISQUES : QUELQUES CRITÈRES DISCRIMINANTS**

De manière non exhaustive, plusieurs critères peuvent être proposés, pour faciliter la discrimination entre les produits que nous avons étudiés :

- Intensité des émissions induites par le produit (en fonction du type de matrice) : les textiles et sprays au nano-argent impliquent, de manière générale, un relargage plus important que les revêtements plastiques ou métalliques (revêtements d'appareils électroménagers), ou encore que les vitres. Les peintures d'extérieur, soumises à la pluie, seraient de ce point de vue en situation intermédiaire.
- Voie d'exposition au produit : le produit peut-il être inhalé ? ingéré ? entre-t-il en contact avec la peau ?

- Nature du bénéfice : bénéfice santé (dépolluant)/ bénéfice environnemental (chimique)/ bénéfice confort (autonettoyant)
- Nature du bénéficiaire : à qui bénéficient les développements ?
- Existence ou non d'alternatives à l'utilisation du produit
- Pertinence de l'utilisation qui est faite du produit (ex: les pansements au nano-argent sont-ils appliqués sur des grands brûlés *versus* pour des petites coupures ?)
- Optimisation de la quantité de nanomatériaux utilisée par rapport à l'effet recherché : par exemple, les ciments photocatalytiques intègrent du  $\text{TiO}_2$  dans la masse, alors que seuls les  $\text{TiO}_2$  présents en surface seront actifs. De même, certains textiles contiendraient 100 fois plus de nano-argent qu'il n'est nécessaire, pour l'action recherchée.

Pour les ciments, peintures, vernis, sprays... :

- Type d'applicateur du produit (professionnel/ particulier) : les produits sont-ils en vente libre sur le marché ?

Pour les produits photocatalytiques au dioxyde de titane :

- Le produit considéré est-il utilisé en milieu intérieur ou extérieur (possible formation de formaldéhyde à l'intérieur) ?
- Application horizontale/ verticale des revêtements : des problèmes d'encrassement sur les routes et zones piétonnes ont été rapportés, qui conduisent les produits à perdre en efficacité, si un entretien adapté n'est pas apporté.

A partir de ces indicateurs, il peut être envisagé de classer le couple produit-usage sur une échelle allant du plus problématique (bénéfices faibles, risques potentiels élevés) au plus acceptable (voir Conclusions).



### III- RÉGULATIONS ET RESPONSABILITÉS :

## PERSPECTIVES ET DÉFIS POUR DEMAIN

### 3.1. DE NOMBREUX CHANTIERS EN COURS

#### RÉGLEMENTATIONS ET RÉGULATIONS

Des évolutions générales au niveau réglementaire européen et français vont certainement avoir des répercussions sur le développement des marchés du  $n\text{-TiO}_2$  et  $n\text{-Ag}$  : **au niveau français comme au niveau européen, à court ou moyen terme, un enregistrement des nanomatériaux et un renforcement des tests sanitaires sont prévus :**

- **Au niveau français :**

L'article 42 de la loi Grenelle 1, promulguée le 3 août 2009, exige notamment des industriels une déclaration obligatoire des nanomatériaux qu'ils fabriquent, importent ou mettent sur le marché. Cette loi, entrera en vigueur en août 2011, et a été confirmée par la loi Grenelle 2, loi portant engagement national pour l'environnement, promulguée le 12 juillet 2010 et qui aborde la question des nanomatériaux à l'article 185 du texte.

- **Au niveau européen :**

**En 2011**, la Commission européenne devrait passer en revue tous les textes européens pour assurer que les nanomatériaux soient **pris en compte dans la législation européenne**<sup>72</sup>.

La présidence de l'Union Européenne a en outre proposé de créer **un registre spécifique pour les nanomatériaux**, dans le cadre du règlement REACH, et veut rendre obligatoire **la mention de leur présence sur les étiquettes des produits de consommation**. Selon le récent rapport<sup>73</sup> du projet européen "Informations industrielles sur les nanomatériaux manufacturés et leur sécurité", (patronné par la Présidence suédoise de l'Union européenne et la DG Environnement de la Commission européenne) publié au mois de mai dernier "*un nouveau système d'enregistrement des nanomatériaux pour la mise sur le marché au niveau de l'Union européenne apparaît nécessaire*" ; il considérerait les nanomatériaux comme de "nouvelles" substances, baisserait le seuil pour l'enregistrement en-deçà d'une tonne, et fixerait à **2013** le délai de soumission des dossiers d'enregistrement. Plusieurs groupes de travail (REACH Implementation Projects on Nano) étudient actuellement les modalités d'une évolution du règlement REACH pour tenir compte de la spécificité des nanomatériaux.

#### Zoom sur les réglementations spécifiques au nano-argent :

- **En Europe**

- Les députés européens ont voté le **16 juin 2010**, en première lecture, une **proposition de règlement concernant l'information des consommateurs sur les denrées alimentaires** stipulant que si un produit contient des nanomatériaux, il est obligatoire de le signaler clairement dans la liste des ingrédients par la mention "nano".

La mesure ne pourra entrer en application rapidement, puisqu'un accord du Conseil de

l'Europe sur l'ensemble du texte est nécessaire... et peu probable dans l'immédiat ; le texte devra vraisemblablement revenir en seconde lecture au Parlement. **S'il est adopté, l'industrie agro-alimentaire aura trois ans pour mettre en œuvre la loi** ; les entreprises de moins de 100 salariés et ayant un chiffre d'affaire annuel de moins de 5 millions d'euros auront deux ans de plus pour s'y soumettre<sup>74</sup>.

○ Un **projet de règlement sur les biocides** visant à remplacer la directive 98/8<sup>75</sup> est en cours d'examen au niveau européen, qui pourrait requérir des industriels une évaluation sanitaire et un étiquetage spécifiques pour les nanobiocides, dont le nano-argent.

Lors du vote en première lecture par le Parlement européen, le 22 septembre 2010, du projet de règlement de la Commission, les eurodéputés ont demandé une évaluation sanitaire et un étiquetage spécifiques des biocides contenant des nanoparticules<sup>76</sup>.

○ Un **projet de règlement sur les composants chimiques des appareils électroniques et informatiques (ROHS)** est également en cours d'examen, au niveau européen.

#### • Aux Etats-Unis



« Escaladez comme un bouc, sans en avoir l'odeur. » HeiQ

Outre-Atlantique également, il y a débat en ce moment : le 12 août dernier, l'Agence de Protection de l'Environnement (EPA) a fait connaître et soumis au public sa proposition d'autoriser (au moins provisoirement) la commercialisation du produit "HeiQ AGS-20" à base de nanoparticules d'argent, destiné à être utilisé dans les textiles pour lutter contre la prolifération des bactéries et mauvaises odeurs...

L'EPA souhaiterait donner quatre ans à l'entreprise pour faire la preuve de l'innocuité de ce produit. Elle a ouvert une consultation en ligne, pour que chacun puisse commenter cette proposition d'autorisation conditionnelle.<sup>77</sup> De nombreuses associations et ONG se sont opposées à cette autorisation<sup>78</sup>. Le gouvernement américain n'a pas (encore) précisé à quelle échéance il rendrait publiques les conclusions qu'il tire de cette consultation.<sup>79</sup>

Ces réglementations, en cours de définition, buttent actuellement sur les questions de définition des nanomatériaux.

#### LES QUESTIONS DE DEFINITION

**En Europe**, le Parlement et la Commission européenne ont chacun demandé des éclairages scientifiques sur la définition à donner aux termes "nanomatériau" et ont donné lieu à la publication, courant 2010, de deux rapports :

- le premier, publié en juin 2010 et intitulé "Considérations sur une définition des nanomatériaux à des fins de régulation" du Centre Commun de Recherche (Joint Research Center) de la Commission européenne
- le second, paru en juillet, intitulé Scientific Basis for the Definition of the Term "Nanomaterial" du Comité scientifique des risques sanitaires émergents et nouveaux (SCENIHR), qui a donné lieu à consultation publique (dont les résultats ne sont pas encore connus lors de l'écriture de cette note)

La Commission européenne a lancé une consultation supplémentaire en ligne<sup>80</sup>, du 21 octobre 2010 au 19 novembre 2010, avec pour objectif de recueillir les opinions de toutes les parties prenantes sur la définition proposée par la commission aux fins de régulation des nanomatériaux.

Cette procédure est jugée surprenante par la juriste Stéphanie Lacour<sup>81</sup>, directrice scientifique et coordinatrice du programme NanoNorma, puisque que le SCENIHR n'a pas encore officiellement répondu à la demande formulée par la Commission le 1<sup>er</sup> mars 2010. La définition scientifique, proposée par les experts, aurait pourtant constitué un point de départ cohérent pour cette consultation supplémentaire...

**Ces questions de définition sont encore débattues au sein d'instances nationales, européennes, et internationales**, comme le Comité européen de normalisation (CEN)<sup>82</sup>, l'AFNOR, l'ISO<sup>83</sup>. Au niveau européen, la définition devrait être stabilisée très prochainement (fin 2010), par la Commission européenne.

## LA RESPONSABILISATION DES ACTEURS

Des travaux sont également menés dans d'autres instances, notamment les instances de normalisation (AFNOR, CEN, ISO...), pour encourager et faciliter des pratiques industrielles responsables : l'instance française AFNOR a ainsi déposé, au niveau européen, la mise en place d'un projet de norme « nano-responsable ». Dans le domaine de la photocatalyse, deux normes sont également en préparation (dans le cadre du groupe de normalisation de l'AFNOR) :

- La B44A sur les méthodes d'essais et d'analyses pour la mesurer l'efficacité de systèmes photocatalytiques (élimination des composés organiques volatils/odeurs)
- La B44-200 sur les épurateurs d'air autonomes pour les applications tertiaires et résidentielles.

Les membres de la Fédération Française de la Photocatalyse réfléchissent également à l'élaboration d'un label, pour les épurateurs d'air ayant passé les tests d'efficacité (norme B44A) avec succès.

### 3.2. ENCORE DE NOMBREUX DÉFIS À RELEVER

Ces évolutions de la réglementation et ces différents efforts vont permettre d'accéder à un peu plus de cohérence et de repérage dans le paysage des nanomatériaux. Néanmoins, d'importants défis perdurent en matière de connaissance, d'information, et d'intégration intelligente des problèmes (cycle de vie des matériaux).

#### DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES A RENFORCER

Nous l'avons vu, l'étendue des incertitudes en matière de bénéfices et de risques des nanomatériaux reste abyssale. Des efforts sont engagés (Programme européen Nanogénotox notamment, coordonné par l'agence française ANSeS), mais le renforcement des connaissances nécessitera des efforts de longue haleine.

Au-delà des incertitudes déjà décrites sur les particules nAg et nTiO<sub>2</sub> – leurs propriétés, leur comportement dans le corps et dans l'environnement, leur toxicité, etc. – l'un des principaux défis scientifiques consiste à mettre au point des méthodes et des outils fiables pour les détecter, les caractériser, les suivre et les mesurer.

#### INFORMER ET SENSIBILISER LES ACTEURS DE MANIÈRE PERTINENTE



D'après Métro Paris, édition du 15 octobre 2010

En l'absence de réglementation spécifique, les développements des nanotechnologies pour la fonctionnalisation des surfaces se sont faits jusqu'à présent souvent, sans que les consommateurs et applicateurs des produits en soient informés. Cela vient du fait que, d'une manière générale, lors de la mise sur le marché, aucune démarche particulière n'oblige à mentionner la spécificité « nano » du produit. Plus spécialement, dans le domaine du bâtiment, les ciments photocatalytiques, présents sur le marché français, n'ont pas nécessité d'Avis Technique. De ce fait, ils ne sont pas identifiés comme « différents », d'autant qu'ils sont mis en œuvre de la même façon que des ciments classiques.

De plus, les éventuelles recommandations, diffusées par les producteurs, sont souvent mal connues des applicateurs en fin de chaîne et difficiles à mettre en œuvre (à cause du langage très technique, ou faute de temps/ d'argent), ce qui peut poser problème pour la protection des travailleurs.

Pour l'heure, la transparence des entreprises est loin d'être la norme, comme l'a souligné la récente étude de Novethic sur la communication des entreprises<sup>84</sup>. Cette étude conclut à une certaine exemplarité des industries chimiques. Néanmoins, il n'est pas évident que toutes les informations utiles soient bien transmises par les producteurs à leurs clients et on constate de fait une perte d'informations tout au long de la chaîne de production. Il est à noter notamment que les deux producteurs de TiO<sub>2</sub> sollicités par VivAgora, n'ont pas, à ce jour, donné suite à nos propositions d'entretien.

L'obligation de déclaration, prévue dans la loi Grenelle, contribuera à améliorer cette situation, mais d'autres actions doivent être mises en place : comme l'a déjà souligné VivAgora<sup>85</sup>, la sensibilisation des travailleurs et personnes concernées, aux risques connus et éventuels est indispensable. Cela suppose deux choses :

- 1 – non seulement élaborer une information pertinente et adaptée aux différentes cibles, à travers des documents d'information pour sécuriser la production et l'utilisation des nanomatériaux
- 2 – mais aussi s'assurer que l'information est bien reçue et comprise par ses destinataires : trop souvent les informations existantes ne parviennent pas jusqu'à leur cible ou ne se sont pas adaptées à leur public. Il est donc nécessaire de faire en sorte et de s'assurer que cette information soit assimilée et bien prise en compte, ce qui implique que les mesures de protection soient déclinées et applicables de manière opérationnelle.

#### LE CYCLE DE VIE DES PRODUITS ET LA GESTION DE LEUR FIN DE VIE : UN IMPENSÉ DE TAILLE

A ce jour, il existe très peu d'analyses du cycle de vie des produits, et notamment leur fin de vie. De façon générale, les réglementations ne tiennent pas compte des quantités émises par les produits dans l'environnement, ni de leur possible remobilisation dans la chaîne alimentaire. La gestion de la fin de vie des produits est remise à demain.

Pourtant, de nombreux paramètres devraient être pris en considération et de nombreuses questions sont à poser sans plus attendre, qui concernent chaque étape du cycle de vie, comme l'illustrent le tableau et le schéma ci-dessous :

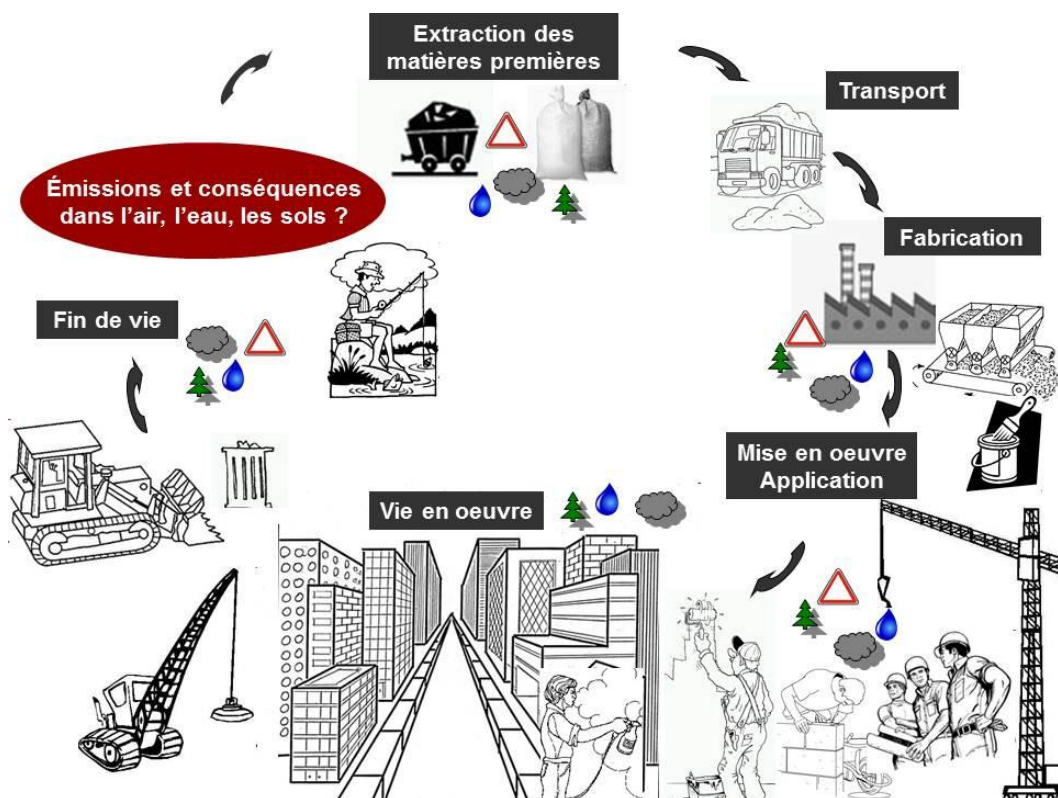
#### Paramètres à prendre en considération aux différentes étapes du cycle de vie d'un nanoproduct

Paramètres à prendre en considération	Fabrication / mise en œuvre	Utilisation	Fin de vie
Capacité à contrôler les expositions	Forte	Moyenne	Faible
Temporalité (avant impact)	Court / long terme	Long terme	Long terme
Nature du principal public exposé	Travailleurs	Consommateurs	Environnement
Principale forme d'exposition	Nanoparticules libres	Particules agglomérées	Particules agglomérées
Nombre d'individus potentiellement exposés	10-10 000	Milliers - millions	Millions
Possibilité d'une exposition à de larges volumes	Fréquente	Rare	Possible avec le temps (accumulation)

(Tableau librement inspiré des travaux de la compagnie d'assurances Allianz<sup>86</sup>)



## Schématisation du cycle de vie du $\text{TiO}_2$ intégré aux ciments ou peintures :



### Légende :



Les travailleurs sont-ils exposés au  $\text{TiO}_2$  ? Quels sont les risques pour les travailleurs ?

Y a-t-il des émissions de  $\text{TiO}_2$

- dans l'air ?
- dans les sols ?
- dans l'eau ?

Que deviennent les résidus de  $\text{TiO}_2$  dans l'environnement ?

Quels organismes et écosystèmes peuvent être exposés au  $\text{TiO}_2$  et à ses résidus ? En quelle quantité, et sous quelle forme ? Y a-t-il des risques pour l'environnement et la population en général ?

### Zoom sur le nano- $\text{TiO}_2$

Peu d'études se sont penchées sur la résistance au temps, à l'abrasion, à l'usure et sur la fin de vie des matériaux contenant des microparticules de  $\text{TiO}_2$ , ni sur la quantité de  $\text{TiO}_2$  (sous forme micro- ou nanométrique) libérée dans l'environnement.

Un système de captage des poussières serait-il nécessaire lors de la destruction d'un ciment (comme dans le cas des silices) ? Le programme NanoHouse, financé par la Commission européenne et initié en janvier 2010, a vocation à éclairer ces questionnements.

### ***Zoom sur le nano-argent***

- **Rejets dans l'environnement**

Une étude suisse<sup>87</sup> récente a notamment travaillé sur les émissions de nanoparticules d'argent provenant des peintures utilisées à l'extérieur, et a constaté une importante dilution de ces particules dans l'eau. Après un an, plus de 30 % des nanoparticules (en général sous forme de composites colloïdaux) étaient émises dans l'environnement, mais sous une forme moins toxique que les nanoparticules de départ.

- **Quantité totale d'argent émise dans l'environnement**

Sur la base de plusieurs études portant sur la quantité d'argent entrant dans les écosystèmes terrestres ou aquatiques, des scientifiques ont récemment estimé à 300 000 kg la masse des déchets d'argent entre les écosystèmes à travers le monde chaque année<sup>88</sup>.

Il faut mettre en regard l'argument selon lequel, du fait de la taille nanométrique, la quantité d'argent émise dans l'environnement sera moins importante, avec le constat que les applications et usages tendent à se démultiplier actuellement, dans des produits pour lesquels l'argent n'était pas utilisé jusqu'à présent (comme les habits, les tétines pour bébé, etc.) ce qui pourrait conduire à moyen terme à l'augmentation de la quantité d'argent émise dans l'environnement.<sup>89</sup>





## IV – CONCLUSIONS

Le but de cette expertise plurielle est de valoriser les préoccupations non techniques de l'expertise, et de faire traverser la logique des industriels par des valeurs de la société civile. Le défi majeur d'une telle procédure est de permettre une montée en expertise des citoyens intéressés par le problème des nanotechnologies afin qu'ils soient capables de poser des questions pertinentes (et impertinentes) aux experts, de pointer les hypothèses et valeurs implicites afin de les mettre en débat. C'est la raison pour laquelle les controverses concernant les risques des nanorevêtements ainsi que les conflits d'intérêt entre les différents acteurs n'ont pas été lissés.

Au terme de cet état des lieux complexe, force est de constater que les usages et situations explorés doivent être pris en compte pour évaluer les nanorevêtements considérés. Trois axes complémentaires nous semblent nécessaires à développer pour **outiller une vigilance collective** :

- réaliser des analyses multidimensionnelles bénéfices risques,
- sortir des impasses des postures ou des représentations,
- mettre les dilemmes en concertation.

### 4.1 REALISER DES ANALYSES MULTIDIMENSIONNELLES BÉNÉFICES-RISQUES

Pour poursuivre l'expertise avec les diverses parties prenantes, nous proposons des critères d'évaluation susceptibles d'intégrer les impacts sanitaires, environnementaux, économiques et sociétaux. Par exemple, les six indicateurs suivants, qui nous apparaissent couvrir l'ensemble des qualités à considérer, pourront être retenus :

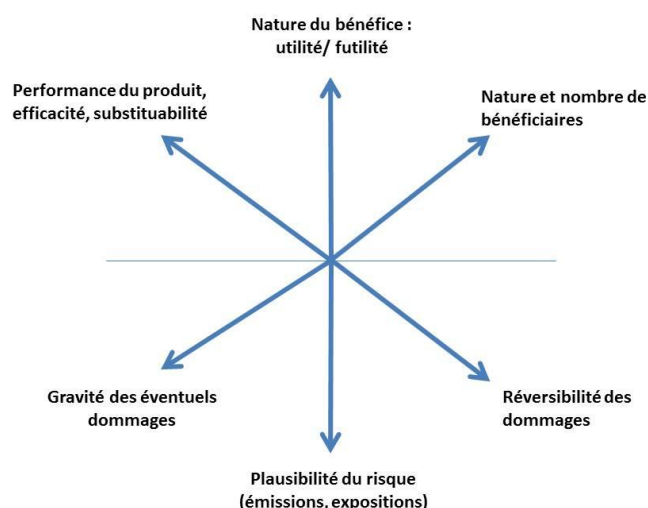
- Gravité des éventuels dommages : effets sur la faune et la flore, effets sur la santé...
- Réversibilité des dommages (possibilité de remédiation)
- Plausibilité du risque : émission, exposition selon les types de produit et les voies d'entrée : poumons (inhalation), peau, voie digestive (ingestion)
- Performance du produit : efficacité, présence/ absence de substitut plus efficace ou moins problématique...
- Nature du bénéfice (soin, confort, hygiène, bien être, économie en main d'œuvre, facilité d'usage...)
- Nature et nombre de bénéficiaires.

Tout produit pourra ainsi être passé au crible de ces critères discriminants pour établir si sa mise sur le marché (ou son développement) en vaut la chandelle. Par cette analyse bénéfices-risques, le produit pourra ainsi être classé selon un gradient entre acceptable et inacceptable.

Sur ce principe, des études de cas pourront être expérimentées sur un ou deux produits, lors des prochaines étapes de l'expertise : Open Space du 9 décembre 2010 et Concertation pluri-acteurs au printemps 2011.

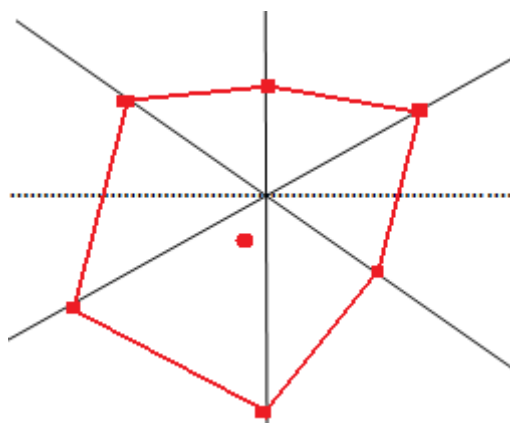
Une spatialisation pourra être proposée, après avoir affecté un coefficient à chaque critère.

### **Spatialisation des critères pour une balance bénéfices/ risques produit par produit**



Ces estimations seront reportées sur un graphique, de façon à former un polygone, comme dans le schéma ci-dessous. On pourra considérer que, plus le centre de gravité du polygone apparaît en-dessous de la ligne centrale, plus le développement du produit s'avère problématique.

### **Exemple de rendu**



## **4.2. SORTIR DES IMPASSES DES POSTURES OU DES REPRÉSENTATIONS**

### **➤ Vers une vigilance coopérative**

Le manque de transparence et la volonté de plus en plus explicite de certaines entreprises à ne pas communiquer sur leurs produits rend l'évaluation des risques extrêmement difficile. A l'inverse, le principe de précaution est souvent rejeté au motif qu'il serait synonyme de revendication de « risque zéro » et de protection totale face au risque. Cette version « absolue » de la précaution existe certes,

mais n'est pas la seule. Au final, imprudents et précautionneux s'arquent de manière stérile, au lieu de prendre en charge collectivement les risques dans une éthique de prudence<sup>90</sup>.

#### ➤ **Prendre au sérieux l'incertitude intrinsèque**

Une dimension importante du risque concerne le fait que les nanorevêtements peuvent être associés à des **maladies chroniques** dues à des expositions à de faibles doses sur du long terme et à des substances qui évoluent au long de leur cycle de vie. L'incertitude pourrait alors signifier la très grande difficulté à établir des relations de cause à effet entre une pathologie (ou une atteinte à l'environnement) et les nanoproduits. Si l'incertitude n'est pas seulement le fait d'un manque de données ou de lacunes dans les connaissances, mais est au contraire intrinsèquement liée aux nanomatériaux eux-mêmes, la question ne se pose plus alors seulement en termes techniques. Il s'agit aussi de **savoir à quoi les innovations nous engagent**. La question est d'emblée scientifique, technique, sociale et politique.

#### ➤ **Ne pas confondre efficacité et utilité**

Il est aussi apparu qu'il fallait ne pas confondre **efficacité et utilité**. Réfléchir sur l'utilité sociale des innovations mises sur le marché ne peut en effet se rabattre sur la seule évaluation de l'efficacité d'un produit : un produit peut être tout à fait performant (techniquement), mais s'avérer inutile (socialement) car ne répondant pas aux besoins. Le critère du marché (achat) n'est pas non plus suffisant pour incarner l'utilité d'un produit, d'autant que le marketing intensif fausse la donne.

#### ➤ **Prendre en compte les effets à long terme**

La question des usages doit également être repensée dans le cadre de l'ensemble du cycle de vie des produits intégrant des nanorevêtements. Or les réglementations actuelles ne prennent pas en compte la fin de vie (notamment les quantités de nanoparticules émises dans l'environnement) : les nanoproduits ne font pas l'objet d'une gestion spécifique pour leur mise en déchet et/ou leur recyclage.

### **4.3. METTRE LES DILEMMES EN CONCERTATION**

Au-delà des inquiétudes sur les impacts sanitaires et environnementaux, le déferlement de nanoproduits sur le marché interroge le **rapport au monde que ces nouvelles technologies peuvent contribuer à modifier** : en quoi notre quotidien va-t-il être transformé par l'introduction de plus en plus massive de ces applications ?

Toutes les greffes de propriétés induites par l'ajout de nanoparticules d'argent ou de dioxyde de titane concourent à lutter contre des menaces et des désagréments qui touchent à la santé, au bien-être ou à l'entretien : elles se dressent contre les salissures, les pollutions, les bactéries... Ces solutions "anti-" sont des paravents qui offrent une protection dans un milieu contrôlé. Elles posent en soi une série de dilemmes qu'il appartient aux politiques de mettre à plat avec l'ensemble de la société civile.

### ➤ **Nano-argent: Protection *versus* fragilisation**

Les revêtements au nano-argent, exploités pour leurs propriétés antibactériennes, participent et renforcent la tendance à l'« hygiénisme ». Si une bonne hygiène est utile pour éviter certaines maladies, son excès peut nous fragiliser. Des **effets secondaires pervers** sont pointés par certains scientifiques et/ou associations : risque de résistance bactérienne à l'argent, déséquilibre des flores bactériennes naturelles (à l'origine d'eczéma), affaiblissement de certaines défenses immunitaires, lien possible avec la recrudescence de l'asthme et certaines maladies auto-immunes.

L'articulation entre des risques locaux (infection bénigne que les produits au nano-argent doivent prévenir) et des risques généraux (développement de pathologies auto-immunes graves) se lit d'une manière nouvelle lorsque l'on considère certaines applications du nano-argent dont les bénéfices escomptés peuvent apparaître bien faibles par rapport aux impacts sociaux et sanitaires possibles.

La rhétorique **d'aseptisation et d'hygiène**, portée par le développement de ces produits modifie la manière dont nos sociétés articulent le besoin de protection, la valeur de plus en plus importante de la sécurité ou de la sûreté.

### ➤ **Fuite en avant technologique *versus* hiérarchisation des priorités**

De façon plus générale, certaines techniques proposent des solutions pour pallier des dégâts liés à notre développement industriel. Cette posture est problématique : par exemple, le dioxyde de titane, qui permet de dépolluer l'air (peintures, ciments photocatalytiques...), ne peut pas être évaluée isolément, sans considérer les alternatives techniques et sociales qui font baisser les pollutions à la source (réduction du trafic automobile, voitures électriques, etc.).

\*\*\*\*\*

Pour **redonner du sens au progrès technique et scientifique**, celui-ci doit être repensée à l'intérieur des dilemmes ici exposés : les valeurs qui sous-tendent actuellement nos développements sont implicites et, par conséquent, ne sont pas débattues. Le pari de notre processus d'expertise est de les faire émerger, les rendre visible, pour les mettre en débat. Le citoyen invité à contribuer à ce processus d'estimation des nanorevêtements n'est plus considéré seulement comme consommateur, porteur d'enjeu ou profane mais comme un porteur de valeurs<sup>91</sup>.

La mise en place de **structures qui accepteront de se laisser « déborder » par les interrogations et les valeurs du public** apparaît centrale. Car les problèmes soulevés ici rejoignent des « problématiques sociales », véritables lignes de fond qui concernent le cycle de vie, notre conception du risque et sa mutualisation, nos demandes de protection, etc. La focalisation sur les nanorevêtements est une façon de donner un contenu concret, donc une prise, à l'élaboration de solutions adaptées et acceptables. Notre processus d'expertise vise à recueillir un foisonnement d'informations et de points de vue afin de donner l'ancrage d'un arbitrage politique entre les valeurs et intérêts qui mobilisent les acteurs impliqués dans le domaine.

A terme, les préoccupations et les inquiétudes de la société civile deviendront-elles structurantes pour enrichir et renouveler les cadres d'expertise ? Quel poids auront ces nouveaux questionnements sur la commercialisation des produits intégrant des nanotechnologies ?

## ANNEXE 1 : PRODUITS AU NANO-DIOXYDE DE TITANE REPÉRÉS

Cet inventaire n'a aucunement prétention à être exhaustif. Il ne considère que les catégories de produits ayant retenues notre attention (ciments, vernis, enduits, peintures, purificateurs d'air photocatalytiques). Il a été effectué par recoupement des différentes bases de données existantes et de nos propres recherches sur internet et n'a donc aucunement prétention à répertorier l'ensemble des produits présents sur le marché. Enfin, **dans de nombreux cas, la présence sous forme nanométrique de dioxydes de titane n'a pu être démontrée de manière certaine dans les produits listés.** Ce document reste donc largement perfectible.

Type de produit	Nom du produit	Nom du fabricant	Pays	Distribution en France
Enduit dépolluant à la chaux pour rénovation	TX Rénocal	Ciment Calcia	France	oui
Ciment dépolluant	TX Aria	Ciment Calcia	France	oui
Ciment auto-nettoyant	LTX Millenium gris / TX Active TX Arca	Ciment Calcia	France	oui
Peinture auto-nettoyante pour façades	StoPhotosan Color	STO	Allemagne	
Peinture dépolluante pour façades	StoPhotosan Nox	STO	Allemagne	
Peinture dépolluante intérieure	StoClimasan Color	STO	Allemagne	
Peinture dépolluante intérieure	Air Pur	Auro	Allemagne	oui
Peinture intérieure dépolluante et anti-odeurs	CapaSan Actif	Caparol : Daw France		oui
Peinture auto-nettoyante pour façades (rénovation)	Amphisilan	Caparol : Daw France		oui
Revêtement	Protectosil® cit	Evonik (Degussa)	Allemagne	
Traitement de surface	Photocal (12 sprays)	NanoFrance Technologies	France	oui
Verre auto-nettoyant	Pilkington Activ (Blue, Suncool...)	Pilkington	Royaume Uni	
Verre auto-nettoyant	SGG Bioclean	Saint Gobain	France	oui
Verre auto-nettoyant	SunClean	PPG Industries	USA	
Bitume anti-pollution et anti-bruit	Noxer	Eurovia	France	oui
Purification de l'air pour traitement des effluents industriels		Biowind	France	oui
Purification de l'air	Nano TiO <sub>2</sub> air purifier	Kind Home Ind. Co. LTD.	Taiwan	
Purification de l'air	NanobreezeTM Room air purifier	Nanotwin Technologies Inc.	USA	

Traitement de surface	Self cleaning coating	Shenzen Become Industry & Trade Co., Ltd	RPC	
-----------------------	-----------------------	--	-----	--

## ANNEXE 2 : PRODUITS AU NANO-ARGENT REPÉRÉS

Cet inventaire n'a aucunement prétention à être exhaustif. Il ne considère que les catégories de produits ayant retenues notre attention (revêtements d'appareils électro-ménagers et informatiques, textiles, pansements). Il a été effectué par recoupement des différentes bases de données existantes et de nos propres recherches sur internet et n'a donc aucunement prétention à répertorier l'ensemble des produits présents sur le marché. **Enfin, dans de nombreux cas, la présence de nanoparticules d'argent n'a pu être démontrée de manière certaine dans les produits listés**, en particulier pour la catégorie des pansements.

### REFRIGERATEURS

Nom du produit	Nom du Fabricant	Pays	Distribué en France
Gamme LG technologie Bioshield®	LG electronics	Corée du Sud	oui
Série FRST20, FRSU20, FRS20	Daewoo electronic	Corée du Sud	oui
L'intérieur des réfrigérateurs dits « américains » : <a href="#">RSG5PUS</a> , <a href="#">RI41WCPS</a> et <a href="#">RS 20 BRPS</a> est recouvert d'une fine couche de nanoparticules (technologie Silver Nano) Side by Side H-Series, série combinés	Samsung	Corée du Sud	oui
R430AT5 SLS	Hitachi	Japon	
Plusieurs modèles de réfrigérateurs ont un traitement antibactérien aux ions argent.	Beko	Turquie	
Totalité des réfrigérateurs	LG Electronics	Corée du sud	oui
Les réfrigérateurs de la gamme Eco Care comme le NRKI 45288 et le combiné NRK 63378 DE disposent d'un revêtement antibactérien.	Gorenje		oui
Avec Antibacteria Froid, <i>Bosch</i> a été le premier à proposer en 2002 un bouclier antibactérien dans ses réfrigérateurs grâce aux ions argent intégrés dans les parois de la cuve et de la contre-porte	Bosch	Allemagne	oui

## ASPIRATEURS

Nom du produit	Nom et pays du Fabricant/Distributeur	Pays	Distribué en France
Aspirateur sans sac : Polti AS570	Polti	Italie	oui
Aspirateur RC4009B	Daewoo electronic	Corée du Sud	Oui
Aspirateur	LG Electronics	Corée du sud	
Aspirateur	Seb *		
Aspirateur	Rowenta*		

Seb et Rowenta achètent leurs filtres antibactériens à EPG Argent, société allemande productrice de nano-argent

## MACHINES A LAVER

Nom du produit	Nom et pays du Fabricant/Distributeur	Pays	Distribué en France
Commercial coin-operated washer	Coinup Co. LTD.	Corée du Sud	
WT 9303AG, WF-6550S7W1, WF-6550S7W1, WT9207AG, WT8507AG, WA85VPLEC, ...	Samsung	Corée du Sud	oui
DW-500MPS, DW-5014PS, DWF-175MPS, DWF-200MS, DWF-900MPS	Daewoo electronic	Corée du Sud	oui
machine à laver	LG Electronics	Corée du Sud	
machine à laver	Whirlpool		
machine à laver	Haiek		

Dans les machines à laver, le principe de fonctionnement repose sur l'électronisation des nanoparticules dans le but d'émettre des ions argent.

A noter, pour les **machines à laver** Samsung, 2 types distincts de procédés libérant de l'argent:

- l'un sous forme de revêtement : la cuve serait recouverte d'un revêtement de nano-argent, donc la libération d'ions argent est systématiquement pour chaque lavage ;
- l'autre ne s'opère que par choix délibéré de l'utilisateur de la machine, la libération est donc activée par la pression d'un bouton spécifique, dans ce cas, ce n'est pas la cuve qui a un revêtement nano (en revanche, on ignore dans l'état actuel de l'investigation le détail du procédé et s'il s'agit de nano-argent ou pas) : c'est le cas du Modèle B1465AV à l' "argent actif" : "Une simple pression sur un bouton et, grâce au système argent actif, le linge est lavé hygiéniquement même à froid, à 30° et à 40°. Vous évitez ainsi des odeurs désagréables tout en économisant de l'énergie et en ménageant votre linge. "92



### **ORDINATEURS PORTABLES**

<b>Nom du produit</b>	<b>Nom du Fabricant</b>	<b>Pays producteur</b>	<b>Distribué en France</b>
Q45 XEV 8102, R60plus XEV 5555w, R700 XEV 5551	Samsung	Corée du Sud	oui
Catégorie Crystal gloss	Samsung	Corée du Sud	
Ordinateur portable	Daewoo Electronics		
Ordinateur portable	LG Electronics	Corée du sud	

### **TELEPHONES PORTABLES**

<b>Nom du produit</b>	<b>Nom du Fabricant</b>	<b>Pays</b>	<b>Distribué en France</b>
Samsung anycall E628	Samsung	Corée du Sud	
LG F2300	LG electronics	Corée du Sud	oui
SEAL CELL mobile phone	SEAL SHIELD (www.sealshield.com)		

### **SOURIS D'ORDINATEURS**

<b>Nom du produit</b>	<b>Nom du Fabricant</b>	<b>Pays</b>	<b>Distribué en France</b>
IOGEAR® Germ Free Wireless Laser Mouse	IOGEAR®, Inc.	USA	non

### **CHAUSSETTES ANTI-ODEURS**

<b>Nom du produit</b>	<b>Nom du Fabricant</b>	<b>Pays</b>	<b>Distribué en France</b>
SoleFresh™	JR NanoTech	Royaume Uni	non
Chaussettes	Nanosilver		
Sea Cell Active	SeaCell GmbH / Smartfiber	Allemagne	Oui

## PANSEMENTS ANTIBACTERIENS A L'ARGENT

Nom du produit	Nom du Fabricant	Pays producteur	Distribué en France
Silver Healing	Beiersdorf (Elastoplast)	Allemagne	Oui
Altreet Ag : Brûlures infectées ou à risque infectieux	Coloplast		oui
Biatain Ag : plaies très humides ; Escarres et ulcères infectés ou à risque infectieux	Coloplast		oui
Comfeel-Ag : Plaies peu humides	Coloplast		oui
Urgotull Ag (plaies présentant un risque d'infection (ulcères, escarres, brûlures du 2e degré, dermabrasions, plaies traumatiques, plaies chirurgicales, etc...)).	Urgo		Oui
Cellosorb Ag (pour ulcères de jambe à caractère inflammatoire)	Urgo		Oui
Aquacel Ag	Convatec		
Actisorb +	Jonhson and Jonhson		Oui
Release Ag	Systagenix Wound Management		Oui
Acticoat	Smith and Nephew		
Askina Calgitrol	B. Braun		
Mepilex-Ag	Mölnlycke		

## RÉFÉRENCES ET PRÉCISIONS

- <sup>1</sup> Cientifica CEO, *The Nanotechnology Opportunity Report (NOR)* 2008, 3rd Edition & Lux Research – Juin 2008
- <sup>2</sup> Cité par Andrew Jackson (Society of Chemical Industry) : <http://www.soci.org/Chemistry-and-Industry/CnI-Data/2009/16/Nanocoatings-incognito>
- <sup>3</sup> <http://www.vinf.eu/page/fields-expertise>
- <sup>4</sup> Cité par Andrew Jackson (Society of Chemical Industry) : <http://www.soci.org/Chemistry-and-Industry/CnI-Data/2009/16/Nanocoatings-incognito>
- <sup>5</sup> [http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/analysis\\_draft/](http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/analysis_draft/) traduit par l'AFSSET, « Nanomatériaux et exposition du consommateur », mars 2010, [http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/460552230101468097041324565478/10\\_03\\_ED\\_Les\\_nanomatériaux\\_Rapport\\_comprese.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/460552230101468097041324565478/10_03_ED_Les_nanomatériaux_Rapport_comprese.pdf)
- <sup>6</sup> <http://www.bgbau.de/d/pages/prae/vfachinformationen/gefahrstoffe/nano/PDF-files/nano-liste.pdf> cité par OSHA, DE-Product list of nano-containing construction and cleaning products, 27.10.2010 : <http://osha.europa.eu/en/news/DE-nanoparticles-construction-cleaning>
- <sup>7</sup> Pour rappel, la toxicité des oxydes d'azote (NOx) pour la santé et l'environnement est clairement établie. Ils peuvent entraîner une altération de la fonction respiratoire, une hyperréactivité bronchique chez l'asthmatique et un accroissement de la sensibilité des bronches aux infections chez l'enfant. De plus, ils participent à la dégradation de la couche d'ozone, sont responsables de la formation d'acide nitrique (à l'origine de pluies acides), mais aussi d'ozone troposphérique, en réagissant avec des Composés Organiques Volatils (COVs). Les COVs peuvent pour leur part entraîner des effets respiratoires, allergiques ou immunitaires notamment chez les enfants. Certains, comme le benzène, sont reconnus comme cancérogènes.
- <sup>8</sup> Sarantopoulos, C., Photocatalyseurs à base de TiO<sub>2</sub> préparés par infiltration chimique en phase vapeur (CVI) sur support microfibreux. 2007, Institut National Polytechnique de Toulouse.
- <sup>9</sup> Bien que basés sur la même propriété photocatalytique, les premiers nécessitent que l'eau s'écoule facilement à la surface du support, qui sera alors de préférence lisse, tandis que l'effet d'assainissement de l'air sera plus efficace sur un support rugueux, de façon à augmenter la surface de contact entre le TiO<sub>2</sub> et les polluants à dégrader.
- <sup>10</sup> D'après les estimations transmises par la Direction générale de la compétitivité, de l'industrie et des services. Voir également l'étude de l'INRS, *Production et utilisation industrielle des particules nanostructurées*, Cahier de notes documentaires, 4<sup>ème</sup> trimestre 2007
- <sup>11</sup> Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB). Des revêtements autonettoyants et dépolluants à l'étude. 2004; <http://www.cstb.fr/actualites/webzine/editions/edition-de-juillet-aout-2004/des-revetements-autonettoyants-et-depolluants-a-letude.html>.
- <sup>12</sup> Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM). Nanotechnologies et matériaux de construction contenant du TiO<sub>2</sub> - Nanoforum du 8 Novembre 2007.
- <sup>13</sup> La présence seule de TiO<sub>2</sub> nanométrique ne permet pas de prédire la toxicité en se basant sur des études menées sur des produits purs. Ces études restent cependant les seules références possibles en l'absence de renseignements sur les produits finis.
- <sup>14</sup> Hackenberg, S., et al., Intracellular distribution, geno- and cytotoxic effects of nanosized titanium dioxide particles in the anatase crystal phase on human nasal mucosa cells. *Toxicol Lett*, 2010. 195(1): p. 9-14  
Navarro, E., et al., *Toxicity of silver nanoparticles to Chlamydomonas reinhardtii*. *Environ Sci Technol*, 2008. 42(23): p. 8959-64  
Wang., Potential neurological lesion after nasal instillation of TiO<sub>2</sub> nanoparticles in the anatase and rutile crystal phases. *Toxicology Letters*, 2008. 183(1-3): p. 72-80  
Wang., *Time-dependent translocation and potential impairment on central nervous system by intranasally instilled TiO<sub>2</sub> nanoparticles*. *Toxicology*, 2008. 254(1-2): p. 82-90
- <sup>15</sup> Les concentrations attendues dans l'environnement (PEC) sont de 0,7 à 16 µg/l et sont supérieures à la concentration sans effet prévisible PNEC (< 0,1 µg/l). De plus, les nanoparticules de TiO<sub>2</sub> présentent le plus fort rapport PEC/PNEC comparées aux nanoparticules d'argent ou aux nanotubes de carbone. Source : Mueller, N.C. and B. Nowack, *Exposure modeling of engineered nanoparticles in the environment*. *Environ Sci Technol*, 2008. 42(12): p. 4447-53.

16 Tolaymat, T.M., et al., An evidence-based environmental perspective of manufactured silver nanoparticle in syntheses and applications: a systematic review and critical appraisal of peer-reviewed scientific papers. *Sci Total Environ*, 2010. 408(5): p. 999-1006.

17 Laufs, S., Conversion of nitrogen oxides on commercial photocatalytic dispersion paints. *Atmospheric Environment*, 2010. 44(19): p. 2341-2349.

<sup>18</sup> Concernant les nitrates, un calcul approximatif montre que si l'on couvrirait par des produits à base de TiO<sub>2</sub> un tiers des surfaces à disposition en ville (de façon à maintenir un taux de NO<sub>2</sub> inférieur à 30 µg/m<sup>3</sup>), la production de nitrates serait d'environ 1,5 tonne par an. Le service cantonal de l'écologie de l'eau évalue à près de 40 000 tonnes par an le stock de nitrates charrié par le Rhône. L'apport de nitrates dus à la photocatalyse serait donc relativement faible par rapport aux concentrations actuelles dans le Rhône. Des cours d'eau de plus faible importance et dont la teneur en nitrates est plus importante (l'Aire ou la Drize) pourraient cependant subir des pics de pollution locale lors de situations particulières (sécheresse et ensoleillement intensif suivis d'orages violents). Source : Chopra, I., The increasing use of silver-based products as antimicrobial agents: a useful development or a cause for concern. *J. Antimicrob. Chemother.*, 2007. 59(4): p. 587-90.

<sup>19</sup> Voir par exemple l'étude du Lawrence Berkeley National Laboratoire : <http://allergyclean.com/news/uvpcformaldehyde.htm>

<sup>20</sup> L'utilisation de ciments photocatalytiques permettrait une réduction de 63,6% des Composés Organiques Volatils, d'après Ramirez, *Titanium dioxide coated cementitious materials for air purifying purposes : Preparation, characterization and toluene removal potential*. *Building and Environment*, 2010. 45(4): p. 832-836. Les oxydes d'azote seraient réduits de 0 à 40% grâce à des applications sur façades ou de 36,7 à 82% grâce à des applications sur routes, d'après Maggos, T., et al., *Photocatalytic degradation of NOx in a pilot street canyon configuration using TiO2-mortar panels*. *Environ Monit Assess*, 2008. 136(1-3): p. 35-44. Une autre étude conclut à une réduction des oxydes d'azote de 25 à 45%, grâce aux revêtements de routes (Eindhoven University of Technology. (2010) *"Road Surface Purifies Air by Removing Nitrogen Oxides, Researchers in the Netherlands Find."* ScienceDaily).

<sup>21</sup> Le nano-argent est aussi utilisé pour ses propriétés réfléchives (réflexion de la lumière), dans les vitres et miroirs : avec une réflectivité à 580 nm qui serait supérieure à 99%, l'argent est utilisé dans les miroirs mais aussi comme « très fin revêtement sur les vitres de fenêtres afin de réduire significativement les pertes énergétiques par rapport au verre ordinaire » (Johnson).

Son utilisation est envisagée dans les CD et DVD : en termes de perspectives de développement, le nano-argent pourrait remplacer l'aluminium dans les revêtements des CD et DVD (Nano Patents and Innovations : <http://nanopatentsandinnovations.blogspot.com/2010/01/target-technology-aims-nano-silver.html>)

Le nano-argent est aussi doué de propriétés conductrices : des recherches portent actuellement sur l'utilisation du nano-argent dans des encres conductrices, qui peuvent entrer dans la composition de circuits électroniques de haute définition et dans des systèmes RFID (systèmes d'identification par radiofréquence); être utilisées sur du papier et des plastiques. D'autres recherches sont également menées sur les fibres en nano-argent aux fins d'application dans des réseaux conducteurs d'électricité »

Source: Johnson Matthey and Brandeberger, Overview Argent, 2009, <http://www.johnson-matthey.ch/download/2009%20Silver%20F%20270209.pdf>

Enfin, le nano-argent serait doué de propriétés anticoagulantes : des recherches sont menées dans cette direction à l'Institut des Sciences Médicales et l'Institut des Technologies de Varanasi, India, et the International Advanced Centre for Powder Metallurgy and New Materials in Balapur, India

Source : Shrivastava, S., et. al., "Characterization of Antiplatelet Properties of Silver Nanoparticles", *ACS/NANO* May, 2009 - cité par Samuel Etris, "Nanosilver Overcomes Blood Platelet Disorders", *The Silver Institute*, 1<sup>er</sup> trimestre 2010, <http://www.silverinstitute.org/images/pdfs/1q2010.pdf>

<sup>22</sup> Pour une liste des inventaires existants, se reporter à la page 43 du rapport 3 de l'Afsset, à compléter par la liste de 260 produits au nano-argent compilée en 2008 par The International Center for Technology Assessment (ICTA)

[http://www.icta.org/detail/news.cfm?news\\_id=206&id=218](http://www.icta.org/detail/news.cfm?news_id=206&id=218)

ainsi que la liste dressée par les Amis de la Terre USA et Australie en 2009.

Nano and Biocidal Silver, 2009 : [http://www.foe.org/sites/default/files/Nano-silverReport\\_US.pdf](http://www.foe.org/sites/default/files/Nano-silverReport_US.pdf), p. 38 et suivantes

<sup>23</sup> Confortique Magazine n° 207 de février 2009, revue professionnelle à destination des vendeurs et revendeurs d'électroménager. <http://www.confortique-news.com/thematiques/conjoncture/grisaille-sur-le-blanc.htm>

<sup>24</sup> Communiqué de la société coréenne Samsung Electronics - fin mai 2008

<sup>25</sup> JR Nanotech. (2009). SoleFresh Nanosilver Socks : <http://www.jrnanotech.com/socks.html>

<sup>26</sup> Voir par exemple ici :

[http://www.bastideleconfortmedical.com/boutique.php?module\\_catalogue\\_page=recherche.php&search=argent&bouton\\_recherche.x=0&bouton\\_recherche.y=0](http://www.bastideleconfortmedical.com/boutique.php?module_catalogue_page=recherche.php&search=argent&bouton_recherche.x=0&bouton_recherche.y=0)

- <sup>27</sup> Acticoat est considéré comme un pansement antibactérien aux nanocristaux d'argent (Rapport de l'Afsset « Nanomatériaux et exposition du consommateur » - 10/09/2010). C'est un pansement réalisé suivant le procédé MC Silcryst, qui est une marque de commerce de Nucryst Pharmaceuticals Corporation, utilisée sous licence.
- <sup>28</sup> Wagner V., Dullaart A., Bock A. and A. Zweck (2006). "The emerging nanomedicine landscape". *Nature Biotechnology* 24(10) [http://www.mag.force.de/downloads/Presse\\_Nature\\_1006.pdf](http://www.mag.force.de/downloads/Presse_Nature_1006.pdf) accessed 30/01/07 cité par Les Amis de la Terre USA et Australie – Nano and Biocidal Silver, 2009 : [http://www.foe.org/sites/default/files/Nano-silverReport\\_US.pdf](http://www.foe.org/sites/default/files/Nano-silverReport_US.pdf)
- <sup>29</sup> Biogate market, 2008 : [http://www.biogate.de/object\\_detail.asp?main=1&subs=0&det=730&pgid=412&lang=e](http://www.biogate.de/object_detail.asp?main=1&subs=0&det=730&pgid=412&lang=e) cité par Les Amis de la Terre USA et Australie – Nano and Biocidal Silver, 2009 : [http://www.foe.org/sites/default/files/Nano-silverReport\\_US.pdf](http://www.foe.org/sites/default/files/Nano-silverReport_US.pdf)
- <sup>30</sup> Nanocoated film as a bacteria Killer, 23 janvier 2009, <http://www.nanowerk.com/news/newsid=8997.php>
- <sup>31</sup> Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM). *Compte-Rendu du Nanoforum du 2 avril 2009 - L'analyse bénéfices/risques appliquée aux nanotechnologies : l'exemple du nano-argent*. 2009.
- <sup>32</sup> Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail (AFSSET), Evaluation des risques liés aux nanomatériaux pour la population générale et pour l'environnement. 2010 et Kim et al. Discovery and Characterization of Silver Sulfide Nanoparticles in Final Sewage Sludge Products, *Environ. Sci. Technol.*, 2010, 44 (19), pp 7509–7514
- <sup>33</sup> Lok, C.N., et al., Silver nanoparticles: partial oxidation and antibacterial activities. *J Biol Inorg Chem*, 2007. 12(4): p. 527-34.
- <sup>34</sup> Mueller, N.C. and B. Nowack, *Exposure modeling of engineered nanoparticles in the environment*. *Environ Sci Technol*, 2008. 42(12): p. 4447-53.
- <sup>35</sup> Wijnhoven, S.W.P., Nano-silver a review of available data and knowledge gaps in human and environmental risk assessment. *Nanotoxicology*, 2009. 3(2): p. 109.
- <sup>36</sup> L'étude de toxicité *in vivo* par voie orale chez les rats traités pendant 28 jours avec des nanoparticules d'argent (Kim et al., 2008) a ainsi montré une présence prépondérante dans l'estomac (par rapport aux autres organes).
- <sup>37</sup> Voir par exemple :  
 Larese, F.F., et al., Human skin penetration of silver nanoparticles through intact and damaged skin. *Toxicology*, 2009. 255(1-2): p. 33-7.  
 Trop, M., Silver-coated dressing acticoat caused raised liver enzymes and argyria-like symptoms in burn patient. *J Trauma*, 2006. 61(4): p. 1024.
- <sup>38</sup> Cette théorie du lien entre asthme et protection des infections de l'enfance est actuellement développée par les immunologistes, notamment Jean François Bach, sur des arguments épidémiologiques, notamment le fait que les enfants élevés en collectivités développeraient moins d'asthmes que ceux qui sont élevés seuls et sur le fait que les enfants des pays de l'Est, pourtant davantage exposés à des facteurs environnementaux (pollution de l'air notamment) développent moins d'asthmes. L'asthme se développe plus dans les pays développés où les facteurs environnementaux de l'asthme (pollution atmosphérique notamment) sont en voie de diminution. Une étude sur ce sujet montre que les agents pathogènes (que nos produits antibactériens visent à éliminer) induisent une certaine stabilité génétique, qui pourrait protéger contre certaines maladies et notamment l'asthme. Voir à ce sujet : Louis B. Bareirro *et. al.*, Evolutionary Dynamics of Human Toll-Like Receptors and Their Different Contributions to Host Defense, *PLoS Genetics*, 17 juillet 2009  
<http://www2.cnrs.fr/presse/communiqu/1641.htm>
- <sup>39</sup> L'étude RSE de Novethic a ainsi révélé que souligne que 54% des entreprises cotées en bourse sont silencieuses sur le sujet des nanotechnologies. Cf. Etude RSE Novethic 2010, « Nanotechnologies : Risques, opportunités ou tabous, Quelle communication pour les entreprises européennes », septembre 2010 : [http://www.novethic.fr/novethic/upload/etudes/etude\\_nanotechnologies.pdf](http://www.novethic.fr/novethic/upload/etudes/etude_nanotechnologies.pdf)
- <sup>40</sup> Après l'annonce par l'agence de protection de l'environnement américaine (EPA) de son intention de réguler le nano-argent, la marque Sharper Image a ainsi modifié l'étiquetage de ses récipients alimentaires « Fresher Longer » dont a disparu la mention « nano » courant 2006.  
 Saturday, November 25, 2006 Manufacturers removing nano labels from product descriptions : <http://nanopublic.blogspot.com/2006/11/manufacturers-removing-nano-labels.html> ; et Emma Fauss, The Silver Nanotechnology Commercial Inventory, Septembre 2008, [http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/6718/fauss\\_final.pdf](http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/6718/fauss_final.pdf)
- <sup>41</sup> Par exemple, les nanoparticules de TiO<sub>2</sub>, produites par Crystal Global, sont ainsi commercialisées sous l'appellation « Ultra-fine TiO<sub>2</sub>».
- <sup>42</sup> Exemple dans le cas de pansements Urgo : « les sels d'Argent d'Urgotul® Ag libèrent progressivement les ions argent au contact des exsudats pour une activité anti-bactérienne de contact capable de diminuer la charge bactérienne locale des plaies présentant des signes inflammatoires locaux évocateurs d'un risque d'infection locale. » Source : <http://www.urgomedical.fr/content/download/5013/34838/version/1/file/urgotul-ag-2010.pdf>

- <sup>43</sup> Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM). Nanotechnologies et matériaux de construction contenant du TiO<sub>2</sub> - Nanoforum du 8 Novembre 2007. 2007.
- <sup>44</sup> Il s'agit du rapport "Considérations sur une définition des nanomatériaux à des fins de régulation" du Centre Commun de Recherche (Joint Research Center) de la Commission européenne, publié en juin 2010, et du rapport Scientific Basis for the Definition of the Term "Nanomaterial" du Comité scientifique des risques sanitaires émergents et nouveaux (SCENIHR), publié en juillet 2010.
- <sup>45</sup> Voir à ce sujet les articles « Les abus de langage sont monnaie courante dans le champ des nanos » et « Nano or not nano ? » sur le site de VivAgora : <http://vivagora.org/spip.php?article713> et <http://www.vivagora.org/spip.php?breve255>
- <sup>46</sup> Almquist, C.B., Role of Synthesis Method and Particle Size of Nanostructured TiO<sub>2</sub> on Its Photoactivity. *Journal of Catalysis*, 2002. **212**(2): p. 145-156.
- <sup>47</sup> Wang, C.B., Synthesizing Nanoscale Iron Particles for Rapid and Complete Dechlorination of TCE and PCBs. *Environ. Sci. Technol*, 1997. **31**(7): p. 2154-6.
- <sup>48</sup> Sanderson, K., Glass, Self-cleaning, in *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*, K.H.J. Buschow, et al., Editors. 2005, Elsevier: Oxford. p. 1-5.
- <sup>49</sup> Drew, R., Engineered nanomaterials: A review of the toxicology and health hazards. 2009.
- <sup>50</sup> Voir par exemple à ce sujet : <http://2020science.org/2010/06/15/just-how-risky-can-nanoparticles-in-sunscreens-be-friends-of-the-earth-respond/>
- <sup>51</sup> Drew, R., Engineered nanomaterials: A review of the toxicology and health hazards. 2009.
- <sup>52</sup> BAAN ET AL., *On the behalf of who*, 2006, Vol. 7(4), P. 295-296 ; Monographie n°39 de l'IARC : <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/PDFs/index.php>
- <sup>53</sup> AFSSET, « Nanomatériaux et exposition du consommateur », mars 2010, [http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/460552230101468097041324565478/10\\_03\\_ED\\_Les\\_nanomatériaux\\_Rapport\\_comprese.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/460552230101468097041324565478/10_03_ED_Les_nanomatériaux_Rapport_comprese.pdf)
- <sup>54</sup> Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail (AFSSET), Evaluation des risques liés aux nanomatériaux pour la population générale et pour l'environnement. 2010.
- <sup>55</sup> Silver Nanotechnology Working Group - EPA Nanosilver Scientific Advisory Panel Report – 5 février 2010 : [https://docs.google.com/viewer?url=http%3A%2F%2Fwww.silverinstitute.org%2Fimages%2Fstories%2Fsilver%2FPDF%2Fsnwfeb5\\_2010.pdf](https://docs.google.com/viewer?url=http%3A%2F%2Fwww.silverinstitute.org%2Fimages%2Fstories%2Fsilver%2FPDF%2Fsnwfeb5_2010.pdf)  
 Voir aussi Silver Nanotechnology Working Group, "EPA Has Safely Regulated Nanosilver for Decades", 2010 : <http://www.nanowerk.com/news/newsid=13947.php>
- <sup>56</sup> [http://ec.europa.eu/research/environment/pdf/hylanderhaxton\\_not\\_2906\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/environment/pdf/hylanderhaxton_not_2906_en.pdf)
- <sup>57</sup> <http://www.regulations.gov/search/Regs/home.html#docketDetail?R=EPA-HQ-OPP-2009-1012>
- <sup>58</sup> Les Amis de la Terre USA et Australie – Nano and Biocidal Silver, 2009 : [http://www.foe.org/sites/default/files/Nano-silverReport\\_US.pdf](http://www.foe.org/sites/default/files/Nano-silverReport_US.pdf)
- <sup>59</sup> [http://www.asef-asso.fr/attachments/192\\_nanoparticulespresentationasef.pdf](http://www.asef-asso.fr/attachments/192_nanoparticulespresentationasef.pdf)
- <sup>60</sup> Voir par exemple les commentaires de l'ONG Nanotechnology Citizen Engagement Organization (NanoCEO) sur la consultation de l'EPA : <http://www.nanoceo.net/files/NanoCEO-comments-to-EPA-on-HeiQ-nAg-NO-ATTACHMENT.pdf>
- <sup>61</sup> Voir par exemple le positionnement de l'ONG Natural Resources Defense Council (NRDC) <http://switchboard.nrdc.org/blogs/mwu/NRDC%20nanosilver%20CR%20Docket%20ID%20EPA-HQ-OPP-2009-1012.pdf>
- <sup>62</sup> <http://blogs.edf.org/nanotechnology/2008/04/29/bacterial-resistance-to-silver-nano-or-otherwise>
- <sup>63</sup> AFSSET, « Nanomatériaux et exposition du consommateur », mars 2010, [http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/460552230101468097041324565478/10\\_03\\_ED\\_Les\\_nanomatériaux\\_Rapport\\_comprese.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/460552230101468097041324565478/10_03_ED_Les_nanomatériaux_Rapport_comprese.pdf)
- <sup>64</sup> [http://www.hcsp.fr/docspdf/avisrapports/hcspa20100312\\_nanoag.pdf](http://www.hcsp.fr/docspdf/avisrapports/hcspa20100312_nanoag.pdf)
- <sup>65</sup> <http://www.bfr.bund.de/cd/50960>
- <sup>66</sup> Référence à l'article 5 du règlement REACH 1907/2006 du Parlement européen et du Conseil du 18 décembre 2006 (titre II, chapitre 1) qui fixe l'obligation générale d'enregistrement et les exigences en matière d'informations
- <sup>67</sup> Sustainability Council of New Zealand, *The Invisible Revolution*, Mai 2010, p.20, cité par l'ACEN : <http://nano.acen-cacen.org/RisquesNano-argent>
- <sup>68</sup> <http://ecocitoyens.ademe.fr/mon-habitation/bien-gerer/qualite-de-lair-interieur> et <http://www.ademe.fr/particuliers/fiches/ventilation/rub4.htm>
- <sup>69</sup> Observatory Nano, *Economical Assessment, Construction sector*, Rapport final de juin 2009
- <sup>70</sup> Freedonia Group Inc., *Nanotechnology in construction* – Pub ID : FG1495107; May 1, 2007



<sup>72</sup> <http://www.nanonorma.org/news/la-commission-europeenne-entend-examiner-la-reglementation-pour-assurer-la-securite-des-nanomateriaux/?searchterm=commission> et <http://www.nanonorma.org/news/nanomateriaux-annonce-de-la-presidence-belge-de-lunion-europeenne>

<sup>73</sup> <http://www.nanomaterialsconf.eu/documents/NanoReportingSystemFinalReport-20Jun10.doc>

<sup>74</sup> Source : site de l'ACEN, <http://nano.acen-cacen.org/ActuHebdo2010sem25#Point2b>

<sup>75</sup> L'argent fait partie des substances et produits biocides réglementés en France par l'arrêté du 19 mai 2004 qui transpose la directive européenne 98/8.

L'argent a été notifié pour les usages de type :

- 2 : désinfectant utilisé dans le domaine privé et dans le domaine de la santé publique et autres biocides,
- 4 : désinfectants pour les surfaces en contact avec les denrées alimentaires
- 5 : désinfectant pour eau de boisson,
- 9 : produits de protection des fibres, du cuir, du caoutchouc et des matériaux polymérisés,
- 11 : protection des liquides utilisés dans les systèmes de refroidissement et de fabrication.

L'argent comme substance biocide est en cours d'évaluation au niveau communautaire, la Suède est le pays rapporteur.

La nature "nano" ou non de l'argent utilisé comme biocide n'est pas spécifiée dans le règlement 1451/2007 toutefois cette caractéristique doit être prise en compte dans le dossier d'évaluation.

<sup>76</sup> <http://www.actu-environnement.com/ae/news/reglement-biocides-adoption-parlement-europe-11062.php4>

<sup>77</sup> ACEN, L'Actu des nanos de la rentrée, 3 septembre 2010, <http://nano.acen-cacen.org/ActuHebdo2010sem35#Point2a>

<sup>78</sup> L'ensemble des commentaires soumis pour cette consultation est accessibles ici et constitue une source d'informations qu'il serait très intéressant d'exploiter :

<http://www.regulations.gov/search/Regs/home.html#searchResults?N=0&Ne=11+8+8053+8098+8074+8066+8084+1&Ntk=All&Ntx=mode+matchall&Ntt=EPA-HQ-OPP-2009-1012>

<sup>79</sup> Pour le développements des régulations en Australie et au Royaume-Uni, voir Thomas Faunce & Aparna Watal, Nanosilver and global public health: international regulatory issues, *Nanomedicine* (2010) 5(4), 617–632

<sup>80</sup> <http://ec.europa.eu/environment/consultations/nanomaterials.htm>

<sup>81</sup> <http://www.nanonorma.org/news/une-consultation-de-plus..>

<sup>82</sup> <http://www.cen.eu/cen/AboutUs/AR/Pages/default.aspx> (2009)

<sup>83</sup> Rapport ISO/TR11360:2010, Nanotechnologies – Méthodologie de classification et catégorisation des nanomatériaux, août 2010

<sup>84</sup> Etude RSE Novethic 2010, « Nanotechnologies : Risques, opportunités ou tabous, Quelle communication pour les entreprises européennes », septembre 2010 :

[http://www.novethic.fr/novethic/upload/etudes/etude\\_nanotechnologies.pdf](http://www.novethic.fr/novethic/upload/etudes/etude_nanotechnologies.pdf)

<sup>85</sup> <http://www.vivagora.org/spip.php?article536>

<sup>86</sup> [http://www.agcs.allianz.com/en/products\\_und\\_services/risk\\_consulting/media/downloads/nanoparticules.pdf](http://www.agcs.allianz.com/en/products_und_services/risk_consulting/media/downloads/nanoparticules.pdf)

<sup>87</sup> Kaegi R, Sinnet B, Zuleeg S, Hagendorfer H, Mueller E, Vonbank R, Boller M, Burkhardt M. Environ Pollut. 2010 Sep;158(9):2900-5. Epub 2010 Jul 10. Release of silver nanoparticles from outdoor facades.

<sup>88</sup> Wijnhoven SWP, Peijnenburg WJGM, Herberts CA *et al.*: Nano-silver – a review of available data and knowledge gaps in human and environmental risk assessment. *Nanotoxicology* 3(2), 109–138 (2009), cité par les Amis de la Terre Etats-Unis et Australie, NANO & BIOCIDAL SILVER, juin 2009

<sup>89</sup> Voir par exemple les commentaires de l'ONG Nanotechnology Citizen Engagement Organization (NanoCEO) sur la consultation de l'EPA : <http://www.nanoceo.net/files/NanoCEO-comments-to-EPA-on-HeiQ-nAg-NO-ATTACHMENT.pdf>

<sup>90</sup> Vers une vigilance coopérative - <http://www.vivagora.org/spip.php?article618>

<sup>91</sup> *Who or what is 'the public'?* Fern Wickson, Ana Delgado, Kamilla Lein Kjolberg, *Nature Nanotechnology*, vol.5, pp757- 758, Nov. 2010

<sup>92</sup> [http://www.samsung.com/ch\\_fr/consumer/home-appliance/washing-machine/washing-machine/WF8704GSV/XEG/index.idx?pagetype=prd\\_detail](http://www.samsung.com/ch_fr/consumer/home-appliance/washing-machine/washing-machine/WF8704GSV/XEG/index.idx?pagetype=prd_detail)