

PETITS INGRÉDIENTS GROS RISQUES

LES NANOMATERIAUX
ENVAHISSENT RAPIDEMENT
NOTRE ALIMENTATION
ET L'AGRICULTURE



REMERCIEMENTS ET AVERTISSEMENTS

Ce dossier a été rédigé par Ian Illuminato des Amis de la Terre Etats-Unis. Dans ce rapport, on retrouve des paragraphes mis à jour du rapport écrit en 2008 par les Amis de la Terre des Etats-Unis, d'Australie et par le BUND (Amis de la Terre Allemagne), intitulé « ***Du laboratoire, vers nos assiettes : nanotechnologies dans l'alimentation et l'agriculture*** ». (Les Amis de la Terre France avaient traduit une bonne partie du rapport et avaient essayé de le faire largement connaître). Il a été publié en mai 2014.

Les Amis de la Terre Etats-Unis voudraient remercier les personnes suivantes pour la relecture de ce rapport : Danielle Fugere et Austin Wilson de l'organisation As You Sow et Jaydee Hanson du Center for Food Safety.

Les Amis de la Terre France n'ont pas traduit le résumé qui reprend ce qui est dit par la suite, ni le chapitre concernant les demandes de réglementations spécifiques à la situation des Etats-Unis. La situation en France est en Europe est légèrement moins outrancièrement scandaleuse qu'aux Etats-Unis, mais les timides tentatives pour régler un peu le domaine des nanotechnologies sont totalement dérisoires face aux immenses enjeux écologiques, sanitaires et sociétaux de ces technologies émergentes.

Comme pour les pesticides, les OGM, les intérêts de quelques firmes transnationales passent avant l'intérêt général, la protection de la santé des citoyens ou de l'environnement. Et si en plus, les nanotechnologie et la biologie de synthèse, c'est bon pour la « croissance »...

Dans un article paru dans Sciences Citoyennes¹, Kevin Jean commente le rapport commandé par les ministères de l'Économie, de la Défense, de l'Environnement, de l'Agriculture, et de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche sur « *le déploiement des nanotechnologies et de la biologie de synthèse* », publié fin mars 2014 :

« A propos des risques, il est laconiquement affirmé dans ce rapport : « *Ces risques, inhérents à toute innovation scientifique, ne doivent en aucun cas empêcher toute avancée scientifique dans ce domaine, ne serait-ce que pour la sécurité nationale* ». Une fois ce parti pris sur la question des risques, le rapport déroule les recommandations : il faut financer la recherche, si possible privée (maintien du crédit impôt recherche), si possible brevetable, et en priorité sur les technologies duales chères au Ministère de la Défense (les technologies ayant un intérêt pour le secteur civil et militaire). Il faut également préserver le dogme de « *l'exemption Défense* » dans le domaine de la régulation de ces technologies. Et enfin, et surtout, il faut « *préserver l'acceptation par la société de produits utiles à nos industries de Défense et nos industries duales, issus des nanotechnologies et de la biologie de synthèse* » (recommandation n°13 du rapport). Pour cela, pas de grand débat national. »

Nous avons ajouté la position des Amis de la Terre sur les nanotechnologies, rédigées en 2009, à l'occasion du « débat » national sur les nanotechnologies.

« *Que ce rapport participe à l'éveil d'un sursaut citoyen.* »
Christian Berdot

¹ <http://sciencescitoyennes.org/tag/biologie-synthetique/>

TABLES DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	4
a- Les nanotechnologies, caisse ?	5
b- Définition des nanomatériaux pour l'évaluation des risques pour la santé et la sécurité	5
c- Nanoparticules industrielles et fortuites	6
d- Les nanomatériaux sont déjà largement utilisés en raison de leurs propriétés nouvelles	7
e- Pourquoi les multinationales de l'agriculture et de l'alimentaire sont-elles intéressées par les nanotechnologies ?	7
f- Les enrobages alimentaires comestibles	8
g- Détecter des nanomatériaux dans les aliments est très complexe	8
2. CRAINTES POUR LA SANTE : POURQUOI NANOMATERIAUX ET NANO-ALIMENTS POSENT DE NOUVEAUX RISQUES	9
a- Inquiétudes sanitaires spécifiques concernant les nanomatériaux dans les aliments et les matériaux en contact avec les aliments	10
b- Les suppléments alimentaires pourraient provoquer des problèmes de santé	13
c- Migration de nanomatériaux à partir des emballages	13
d- Nanoparticules, maladie de Crohn et dérèglement du système immunitaire	13
e- Crainte pour la santé et la sécurité au travail	14
3. NANO-ALIMENTS SUR LE MARCHÉ	15
4. NANO-ALIMENTS ET NANO-AGRICULTURE POSENT DE NOUVEAUX DANGERS POUR L'ENVIRONNEMENT	20
a- Les nanomatériaux actuellement utilisés dans le commerce posent de graves dangers écologiques	20
b- Conséquences sur les écosystèmes aquatiques	19
c- Impacts sur les sols	23
d- Bioaccumulation de nanomatériaux	23
e- Dangers des pesticides contenant des nano-ingrédients	24
f- La dissémination volontaire de nano-produits chimiques agricoles dans l'environnement est extrêmement inquiétante	24
g- Les nano-biotechnologies et la biologie de synthèse posent des risques encore moins bien appréhendés	24
h- Les nanotechnologies dans l'agriculture et la production agricole ont un coût écologique plus élevé	25
5. SITUATION ACTUELLE EN FRANCE	26
6. POSITION DES AMIS DE LA TERRE FRANCE (2009)	28
7. SOURCES ET RÉFÉRENCES	33

1. INTRODUCTION

Ces trois dernières décennies, le nombre de produits alimentaires disponibles sur le marché états-unien a augmenté de façon exponentielle. Alors que notre système alimentaire moderne a apporté une variété toujours croissante d'options « alimentaires » à acheter par le consommateur, cela s'est accompagné aussi de la présence de quantité d'ingrédients potentiellement dangereux, avec derniers sur la liste, les nanomatériaux.

Les nanomatériaux sont produits par les nanotechnologies et on les retrouve dans un vaste éventail de produits. Selon le Woodrow Wilson International Center for Scholar, des aliments contenant des nanomatériaux sont en train de rapidement pénétrer le marché, au rythme de trois à quatre par semaine.

En 2008, les Amis de la Terre publiait un rapport qui faisait grand bruit, sur l'utilisation des nanomatériaux dans l'alimentation et l'agriculture, « Du laboratoire, vers nos assiettes : les nanotechnologies dans l'alimentation et l'agriculture ». Six ans plus tard, le gouvernement états-unien a très peu avancé pour protéger les citoyens de ces ingrédients alimentaires potentiellement dangereux, alors que le nombre de « nano-aliments » sur le marché a été multiplié par plus de dix en six ans. En l'absence d'obligation d'étiquetage et de déclaration, le nombre de nanomatériaux non communiqués dans les aliments est certainement bien plus élevé. Dans le même temps, un nombre croissant de preuves ayant fait l'objet d'un examen par des pairs montrent que les nanomatériaux, y compris ceux utilisés dans notre système alimentaire, peuvent être nocifs pour la santé humaine et l'environnement.

Cette introduction rapide des nanomatériaux dans notre système alimentaire a été poussée par les milliards de dollars que près de 200 multinationales de l'agro-alimentaire ont investi dans les nano-aliments et les nano-emballages. On s'attend d'ailleurs à ce que le marché des nano-aliments augmente pour atteindre les 20,4 milliards de dollars en 2020.

De nombreux produits alimentaires que les Etats-Uniens consomment quotidiennement contiennent

malheureusement des nanomatériaux comme ingrédients. La liste inclut des produits aussi familiers que les fromages fondus ou à la crème, les cookies, les beignets, les crèmes à café, le sirop et autres produits à base de chocolat, les flans, la mayonnaise, la purée, le lait, le soja, les boissons à base d'amande ou de riz, les yaourts, les céréales, les bonbons, les crackers, les pâtes et les boissons pour sportifs. Il y a de plus en plus de preuves aussi que des nanomatériaux sont utilisés pour emballer et conserver les fruits et les légumes, une tendance dangereuse qui pourrait menacer l'intégrité d'aliments de base sains. Ces produits sont fabriqués et vendus par les plus grandes compagnies alimentaires comme Kraft, General Mills, Hershey, Nestlé, Mars, Unilever, Smucker's et Albertsons. En l'absence d'obligation d'étiquetage et de déclaration, le nombre des nanomatériaux présents et non communiqués dans les aliments est certainement bien plus élevé.

Ce rapport veut étudier la croissance rapide de l'entrée des nanomatériaux dans notre système alimentaire depuis la publication de notre rapport de 2008, en y incluant aussi le développement de nouveaux aliments et de nouveaux nano-produits au contact des aliments. Nous présenterons les nouvelles tendances dans les nanotechnologies et dans la littérature scientifique actuelle, en lien avec les conséquences potentielles des nanotechnologies sur l'environnement, la santé et la sécurité et un résumé de l'état actuel des réponses réglementaires des Etats-Unis, à ce jour.

On pouvait penser, il y a six ans, que l'inaction qui entourait ce sujet pouvait être due à un manque de données. Aujourd'hui, l'inaction est toujours la norme, par contre le manque de données n'est plus une excuse que les industriels peuvent invoquer. Même s'il est vrai que les recherches sur l'environnement, la santé et la sécurité ont du mal à suivre le rythme de la commercialisation, la quantité d'informations et d'études aujourd'hui disponibles est énorme. Les gouvernements, les scientifiques et les organismes scientifiques, comme le Conseil national de la recherche des Etats-Unis, ont déjà présenté plus de preuves qu'il n'en faut pour justifier un régime réglementaire proactif et un programme de recherches convenablement financé pour cibler

efficacement les domaines où les craintes pour l'environnement et la santé sont les plus fortes.

Un nombre croissant d'organisations de la société civile mondiale ont lancé un appel pour une gestion des nanotechnologies, basée sur le principe de Précaution, avec comme point fort la publication des « Principes pour le contrôle des nanotechnologies et des nanomatériaux »¹. Plus de 70 groupes des six continents ont soutenu ce document.

Malheureusement, les gouvernements montrent très peu d'empressement pour apporter les niveaux de financement nécessaires pour soutenir un tel travail ou pour adopter les réglementations appropriées. La notion de précaution a été remplacée par une attitude qui consiste à dire qu'il est de l'obligation des industriels de déterminer si leurs produits sont inoffensifs, et que les autorités de réglementation n'interviendront qu'une fois qu'un effet néfaste sera mis en évidence. Alors que la France, la Belgique et le Danemark ont mis en œuvre un registre obligatoire des nanomatériaux et que l'Union européenne est en train de mettre en place un régime d'étiquetage des nano-aliments qui débute cette année, les consommateurs européens sont maintenus dans l'ignorance.

Si nous voulons protéger les citoyens et l'environnement, il va falloir que ça change.

Les nanotechnologies, c'est ça ?

Le terme « nanotechnologie » ne décrit pas une technologie en particulier, mais englobe toute une série de technologies qui opèrent à l'échelle des briques de base de la biologie et des matériaux manufacturés, ce que l'on appelle « l'échelle nano ».

Il n'y a toujours pas un ensemble de définitions ou de systèmes de mesure pour les nanotechnologies qui soit accepté au niveau international, bien que des travaux en ce sens aient débuté. Toutefois, le terme de « nanotechnologies » s'entend généralement comme englobant à la fois les nanosciences et le large éventail de technologies qui opèrent à l'échelle nanométrique.

- **Nanoscience** : Etude des phénomènes et des matériaux à l'échelle des atomes, des molécules et

des macromolécules, échelles où les propriétés diffèrent de façon importantes des propriétés à une échelle plus élevée.

- **Nanotechnologies** : conception, caractérisation, production et application de structures, dispositifs et systèmes, en contrôlant la forme et la taille à l'échelle nanométrique.
- **Nanomatériaux** : particules, nanotubes, nanofils, points quantiques, fullerènes (ou buckyballs), etc.



Pour visualiser l'échelle nanométrique

Un brin d'ADN fait 2,5 nm de largeur, un globule rouge mesure 7 000 nm et un cheveu humain a une largeur de 80 000 nm. Un nanomètre est un milliardième de mètre. Une façon de visualiser combien ces particules sont incroyablement petites est de comparer une balle de tennis avec la Terre. L'échelle entre la Terre et la balle de tennis est la même qu'entre la balle de tennis et une nanoparticule.

Définition des nanomatériaux pour l'évaluation des risques pour la santé et la sécurité

Il est à noter qu'il existe une tendance à définir les nanotechnologies comme ne s'appliquant qu'à des matériaux, structures et systèmes qui ne mesurent pas plus de 100 nm. Cette distinction est tout à fait artificielle, en particulier du point de vue des interactions biologiques. La définition des nanomatériaux est toujours en cours : l'Administration des aliments et médicaments des Etats-Unis (FDA) utilise une définition allant de 1 à 1000 nm pour les médicaments et demande des informations pour des ingrédients

de moins de 1000 nm pour les autres produits qu'elles règlementent. L'Agence européenne de médecine définit aussi les nanotechnologies dans une gamme de tailles de moins de 1000 nm de largeur. De nombreuses petites particules qui mesurent plus de 100 nm présentent un ensemble de comportements physiologiques et anatomiques similaires, comme par exemple une réactivité, une bio-activité ou une biodisponibilité plus importantes². Lorsqu'on examine les implications pour la santé et l'environnement des nanoparticules, les tailles doivent être définies largement. Il est indispensable de prendre aussi en compte les risques liés aux particules mesurant moins d'un micron (100-1000 nm) et aux microparticules - dépassant les 1000 nm.

Dans un rapport de 2010, le Comité scientifique et technologique de la Chambre des Lords au Royaume-Uni recommandait que toute définition d'un nanomatériau soit basée sur la preuve que son comportement diffère de celui constaté sous sa forme conventionnelle, plutôt que sur quelque taille arbitraire comme 100 nm³. Les auteurs d'un réexamen des implications nano-toxicologiques des nano-médecines suggèrent que : « En pratique, la taille utile des nano-médicaments se retrouve plus habituellement dans une fourchette allant de 5 à 250 nm, étant donné que celle-ci tend à avoir une série de propriétés semblables basées sur les conséquences physiologiques et anatomiques »⁴. Les chercheurs qui étudient les effets biologiques des nanoparticules ont aussi défini leur taille pertinente comme allant jusqu'à quelques centaines de nanomètres⁵. D'autres chercheurs encore qui publient dans des revues sur l'administration de médicaments⁶ et la nourriture^{7,8}, plaident en faveur d'une définition utile de la taille allant de 1 à 1000 nm, pour les nanomatériaux utilisés dans ces domaines.

Ce plafond de 100 nm, pour définir - dans le but de futures évaluations des risques pour la santé et la sécurité - ce qui est considéré comme une nanoparticule ou un nanomatériau, est arbitraire et pose problème. En effet, comme l'ont montré certaines études, de petites particules dont la taille dépassait ce plafond peuvent poser des risques pour la santé plus importants que des particules en-deçà de cette limite. Wang et ses collaborateurs ont mené une étude *in vivo* où des souris étaient nourries avec des particules de dioxyde de zinc de 20 et 120 nm⁹. Les deux types

de nanoparticules provoquaient des lésions des organes et un épaissement du sang des animaux testés, mais il s'avérait que les nanoparticules plus grandes provoquaient en fait des lésions plus importantes du foie. Dans une autre expérience *in vivo*, des souris étaient nourries avec de fortes doses de poudre de zinc de 58 et 1 058 nm. Les microparticules de zinc provoquèrent des lésions du foie plus graves, alors que les nanoparticules de zinc provoquaient une anémie et de graves lésions des reins¹⁰.

Dans ce rapport, lorsque nous utilisons le terme « nano », nous incluons des particules qui peuvent atteindre 1000 nm, car il y a suffisamment de preuves que des particules de cette taille présentent des problèmes spécifiques aux nanoparticules. Nous demandons urgemment aux autorités de réglementation d'adopter aussi cette définition pour évaluer et gérer les risques pour la santé et l'environnement associés aux nanotechnologies. Les risques pour la santé et l'environnement des nanoparticules devraient reposer sur le comportement physiologique et anatomique des petites particules, plutôt que sur des distinctions de taille arbitraires.

Nanoparticules industrielles et fortuites

Les nanoparticules manufacturées (ou industrielles) sont celles qui sont délibérément produites, contrairement aux nanoparticules qui « existent dans la nature » ou celles qui sont des produits secondaires d'autres activités humaines. Les nanomatériaux industriels comprennent les nanoparticules (par exemple les oxydes de métaux) et aussi les nanostructures, comme notamment les nanotubes, les nanofils, les points quantiques, les dendrimères et les fullerènes de carbone (buckyballs).

Les nanoparticules « fortuites » (appelées aussi particules ultrafines dans l'étude de la pollution de l'air et son épidémiologie) sont des produits secondaires des feux de forêts, des volcans, de la combustion des véhicules et de processus industriels à haute température, comme la combustion, le soudage et le meulage¹¹.

Une bonne partie de la discussion des effets sur la santé et l'environnement des nanoparticules se concentre sur les nanoparticules fabriquées. Toutefois, de nombreuses questions de sécurité et de réglementation portant sur les

nanoparticules manufacturées se posent aussi pour les nanoparticules produites fortuitement. Nous savons par exemple qu'une exposition à de forts niveaux de nanoparticules fortuites dans l'air pollués des villes provoque l'apparition accrue de maladie et même une mortalité accrue dans les couches vulnérables de la population¹². Il est important de s'assurer que les ouvriers, les citoyens et l'environnement sont protégés contre cette exposition nocive et la production de nanoparticules fortuites.

Les nanomatériaux sont déjà largement utilisés en raison de leurs propriétés nouvelles

A l'échelle nanométrique, les propriétés physiques, chimiques et optiques des substances courantes diffèrent de celles des mêmes substances sous forme de grandes particules. Le dioxyde de zinc, par exemple lorsqu'il est sous forme de grandes particules, est blanc et opaque. Sous forme de nano-dioxyde de zinc, il est transparent, ce qui permet de l'utiliser comme protection UV dans des produits comme les films d'emballage plastiques. Sous forme de nanoparticules, les propriétés bactéricides de l'argent sont beaucoup plus fortes, ce qui a poussé les industriels à l'utiliser dans les planches à découper, les réfrigérateurs, les conteneurs de stockage alimentaires et les emballages alimentaires.

La modification des propriétés des nanoparticules est due à la fois à l'influence de la « mécanique quantique » et à la surface relative beaucoup plus importante qu'ont les nanoparticules comparée à celle des particules beaucoup plus grandes. L'importante surface des nanomatériaux entraîne une réactivité chimique et une activité biologique¹³ accrues, ce qui les rend intéressantes pour les utiliser comme renforcement nutritionnel ou comme bactéricide dans les emballages alimentaires. Toutefois, ces propriétés modifiées des nanomatériaux, en particulier leur grande réactivité chimique et leur plus grande capacité à pénétrer les membranes biologiques, représentent aussi de nouveaux risques graves de toxicité¹⁴.

Les nanomatériaux sont la « première génération » de produits des nanotechnologies et ont été les premiers nano-produits à avoir été commercialisés à grande échelle.

Pourquoi les multinationales de l'agriculture et de l'alimentaire sont-elles intéressées par les nanotechnologies ?

Les nanotechnologies ont des applications déjà existantes ou potentielles dans tous les domaines de l'agriculture : transformation des aliments, emballage et même surveillance des activités agricoles et des aliments. On y trouve :

- des méthodes pour permettre que des aliments comme les sodas, les crèmes glacées, le chocolat ou les frites soient commercialisés comme produits diététiques, en réduisant leur contenu en sucre ou graisse ou en augmentant le contenu en protéines, fibres ou vitamines ;
- la production d'arômes, de colorants, de suppléments alimentaires et d'auxiliaires technologiques plus puissants pour augmenter le rythme de fabrication et baisser les coûts des ingrédients et de la transformation ;
- le développement d'aliments capables de changer de couleur, de goût ou de propriétés nutritives selon les besoins nutritionnels, les allergies, les préférences gustatives ;
- les emballages pour augmenter la conservation capables de détecter la détérioration, les bactéries ou la perte de nutriments et de libérer des bactéricides, des agents de saveur, des colorants ou des additifs nutritionnels en réponse ;
- la reformulation des intrants à la ferme pour produire des engrais, des traitements de plantes et des pesticides plus puissants qui répondent à des conditions ou des cibles spécifiques.

Ils sont utilisés dans des centaines de produits que l'on trouve dans les rayons des supermarchés

et cela va des écrans solaires transparents, des cosmétiques qui diffractent la lumière, aux crèmes hydratantes à effet pénétrant renforcé, aux tissus qui repoussent les taches, l'humidité et les odeurs, aux peintures longue durée et vernis à meubles, aux appareils ménagers antibactériens comme les aspirateurs, les réfrigérateurs et les climatiseurs, et aux équipements sportifs¹⁵.

Pour les années et décennies à venir, on nous annonce la « prochaine génération de nanotechnologies » qui doit apporter des nano-dispositifs, des nano-systèmes et des nano-machines encore plus complexes¹⁶. Les nanotechnologies peuvent être utilisées pour modifier la génétique humaine, animale ou celle des plantes agricoles à l'échelle atomique et incorporer des matériaux synthétiques dans les organismes biologiques et des matériaux biologiques dans des structures synthétiques¹⁷.

Les enrobages alimentaires comestibles

La manipulation des matériaux à l'échelle nanométrique permet aux scientifiques de l'alimentation de créer des « films feuilletés comestibles » qui peuvent être utilisés comme couches isolantes pour prolonger la durée de conservation. Ces films peuvent contenir des lipides ou des argiles comme barrières contre l'humidité ; des bio-polymères comme les glucides, fonctionnant comme barrières contre l'oxygène et le dioxyde de carbone ou des nanoparticules et des nano-gouttelettes émulsifiées qui peuvent contenir des ingrédients pour améliorer le goût, la texture et l'apparence.

Des substances antibactériennes comme le nano-argent peuvent être aussi directement intégrées dans l'enrobage comestible, comme pour les emballages de la viande¹⁸.

Il a été signalé que des enrobages comestibles contenant des nanomatériaux manufacturés étaient déjà utilisés pour rallonger la durée de conservation des fruits et des légumes sur les marchés des Etats-Unis et du Canada. Des tests menés dans des fermes des Amériques Centrale et du Sud mirent en évidence le fait que nombreux fruits et légumes avaient un nano-enrobage : pommes, poires, poivrons, concombres et autres produits destinés aux Etats-Unis et au Canada¹⁹.

Détecter des nanomatériaux dans les aliments est très complexe

La détection de nanomatériaux est une affaire complexe qui nécessite des appareils et des techniques de pointe et expérimentaux, en particulier lorsqu'il s'agit de quantifier ou de caractériser des nanomatériaux dans une matrice aussi complexe que les aliments. L'absence de norme et de méthode de mesure reconnues internationalement s'ajoutant à l'opacité de l'industrie des nanotechnologies, le tout renforcé par le manque de réglementation dans ce domaine, font que le simple fait de vouloir comprendre où des nanomatériaux sont utilisés et quelle sont véritablement leurs interactions avec les humains et notre environnement, est un très grand défi.



2. CRAINTES POUR LA SANTE : POURQUOI NANOMATERIAUX ET NANO-ALIMENTS POSENT DE NOUVEAUX RISQUES

Les nanomatériaux ont des propriétés uniques qui offrent de nombreuses et nouvelles possibilités d'emploi pour l'industrie alimentaire, en tant qu'additifs alimentaires, agents de saveurs ou colorants très puissants ou comme agents antibactériens dans les emballages. Cependant, ces mêmes propriétés présentes à l'échelle nanométrique et qui rendent l'emploi de ces matériaux intéressant pour l'industrie alimentaire, peuvent aussi provoquer une plus grande toxicité pour les humains ou l'environnement.

- Elles peuvent avoir une réactivité chimique plus grande et être plus bioactives que des particules de plus grandes tailles du même composant chimique.
- Du fait de leur taille très petite, les nanoparticules pénètrent plus facilement dans nos corps, elles sont donc plus susceptibles de pénétrer nos cellules, nos tissus et organes.
- Une biodisponibilité et une bio-activité plus importantes peuvent provoquer de nouveaux risques de toxicité.
- Elles peuvent gêner les réponses de notre système immunitaire.
- Elles peuvent avoir des effets pathologiques à long terme

Les nanoparticules d'argent, de dioxyde de titane, de zinc et d'oxyde de zinc sont maintenant utilisées comme compléments alimentaires, ainsi que dans des emballages alimentaires au contact avec les aliments. Des études en éprouvettes et sur animaux ont démontré qu'elles étaient hautement toxiques pour les cellules. Des études préliminaires sur l'environnement laissent penser que ces substances peuvent être toxiques pour des espèces écologiquement importantes comme les puces d'eau. Pourtant, il n'y a aucune réglementation spécifique pour les nanotechnologies ni d'étude de risques obligatoire avant que des nanomatériaux fabriqués

ne soient utilisés dans l'alimentation, les emballages alimentaires ou les produits à destination agricole.



Avant la révolution industrielle, les humains étaient très peu exposés à des nanoparticules insolubles. De ce fait, nos corps n'ont pas développé de mécanismes efficaces pour s'en débarrasser, comme ils le peuvent pour des particules plus grandes dans les poumons, le transit gastro-intestinal, les tissus ou les organes. Les nanoparticules présentent aussi une adhérence plus grande aux surfaces biologiques à l'intérieur de nos corps, ce qui peut augmenter les taux d'absorption²⁰.

Dans le rapport du 19 juillet 2012, intitulé « Effets in vitro des nanoparticules d'argent sur le foie et les hépatocytes » publié dans les « Toxicological Sciences, l'auteur Birgit Gaiser déclare :

« Actuellement, il n'y a pas beaucoup d'informations disponibles concernant l'ingestion de nanoparticules et la santé humaine. Il y a des preuves qu'un faible pourcentage de ces particules ou composants de particules (de nano dioxyde de titane ou de nano-argent) peut se déplacer de l'intestin vers le sang et atteindre d'autres organes. C'est pourquoi, nous pensons qu'il est important d'évaluer les risques de quantités même faibles de particules dans le corps humain²¹. »

En 2009, une équipe menée par Roel Schins de l'Institut de recherche sur la santé environnementale de Düsseldorf, publiait une étude suggérant que certaines nanoparticules dont celles de silice et de dioxyde de titane pouvaient induire des lésions de l'ADN dans les cellules intestinales humaines²².

Inquiétudes sanitaires spécifiques concernant les nanomatériaux dans les aliments et les matériaux en contact avec les aliments

Silice :

Utilisation : est utilisée comme produit pour aider l'écoulement dans les produits alimentaires sous forme de poudre, comme agent de clarification des bières et vins, comme additif alimentaire (de la silice amorphe qui s'est révélée être nano) et comme enrobage alimentaire.

Craintes pour la santé : on a retrouvé de la nano-silice dans le foie de rats et de souris après administration orale. Des études *in vitro* ont révélé qu'un pourcentage important de la nano-silice ne se dissout pas et que « la présence de particules de nano-silice non dissoutes dans les intestins *in vivo* est considérée comme probable »^{23,24}. Des études sur animaux ont montré des transferts placentaires et l'absorption de silice par le fœtus. Des scientifiques ont mis en garde sur le fait que la plus grande sensibilité du fœtus peut faire que de faibles doses de nanomatériaux peuvent avoir des effets nocifs²⁵.

Nano-argent

Utilisation : Dans l'inventaire des nano-produits du Woodrow Wilson Institute, le nano-argent est le nanomatériau le plus souvent mentionné dans la description des produits²⁶. Une affaire judiciaire récente aux Etats-Unis révélait que le nano-argent

était « omniprésent » et qu'il était impossible pour les consommateurs d'éviter d'y être exposés²⁷. On trouve parmi les produits alimentaires et les produits en contact avec des aliments et reconnus comme contenant du nano-argent, des biberons, des contenants et emballages alimentaires, des planches à découper, des saladiers, des appareils, de la coutellerie, des bacs à glace, des dispositifs de filtration et des congélateurs démontables. Il est utilisé dans la production volaillière et en agriculture et aquaculture, comme désinfectant²⁸.

Craintes pour la santé : les preuves s'accumulent sur le fait que le nano-argent peut avoir des effets toxiques plus importants sous forme nano que sous sa forme conventionnelle. Le nano-argent peut plus facilement pénétrer les barrières biologiques et s'accrocher à la surface extérieure des cellules²⁹. L'argent d'échelle nanométrique peut aussi pénétrer le système sanguin et atteindre tous les organes du corps, cerveau, cœur, reins, rate, moelle osseuse et tissus nerveux.

Des études sur animaux ont montré que des transferts placentaires avaient lieu et que le fœtus absorbait du nano-argent³⁰. C'est particulièrement inquiétant si l'on rapproche ce résultat à une étude qui montrait que des embryons de poissons zèbres exposés à du nano-argent n'avaient pas d'yeux et présentaient des anomalies au niveau de la tête. Les poissons zèbres sont largement utilisés comme organismes modèles pour le développement embryonnaire chez les autres vertébrés y compris chez les humains³¹.

Des spécialistes de la santé ont aussi souligné le fait qu'une utilisation généralisée du nano-argent dans les produits de consommation aggraverait encore le problème des super-microbes résistants aux antibiotiques³².

Dioxyde de titane

Utilisation : agent de blanchiment et brillanté dans toute une gamme de produits alimentaires.

Craintes pour la santé : l'Agence européenne des produits chimiques réexamine l'innocuité du dioxyde de titane (y compris sous forme nano), car certains pensent qu'il peut être nocif pour l'environnement et la santé humaine³³. Contrairement aux particules conventionnelles d'oxyde de titane, le nano-dioxyde de titane est biologiquement très actif. Des études ont montré

que le dioxyde de titane peut endommager l'ADN³⁴, perturber les fonctions cellulaires, interférer avec l'activité protectrice des cellules immunitaires en absorbant des fragments de bactéries et en les faisant passer « clandestinement » au travers du tractus gastro-intestinal, ce qui peut provoquer des inflammations³⁵³⁶³⁷³⁸³⁹⁴⁰. Une seule forte dose orale de particules de dioxyde de titane peut provoquer des lésions importantes des reins et du foie chez des souris femelles⁴¹.

En 2010, une étude de l'Institut fédéral allemand pour l'évaluation des risques et de l'Agence fédérale de l'Environnement concluait que le nano-dioxyde de titane est un cancérigène possible s'il est inhalé⁴².

Le nano-dioxyde de titane est particulièrement mobile dans le corps et a été détecté à la fois chez des humains et des animaux, dans le sang, le foie et la rate⁴³. Une étude utilisant des souris gravides (attendant des petits) révélait que des particules de nano-dioxyde de titane étaient transférées dans l'utérus vers leur progéniture avec comme conséquences des lésions cérébrales et au niveau du système nerveux, et une diminution de la production de sperme pour la progéniture mâle⁴⁴.

Une analyse de l'exposition humaine au nano-dioxyde de titane par les aliments déterminait que le groupe des enfants entre 2,5 et 4,5 ans était le plus exposé au nano-dioxyde de titane, car les sucreries en contiennent plus que tout autre produit. Elle calculait aussi que l'exposition type d'un adulte états-unien devait être de l'ordre d'1 mg de titane par kg de poids corporel par jour⁴⁵.

Parmi les produits dans lesquels les Amis de la Terre ont trouvé des nanomatériaux, nombreux étaient ceux qui contenaient plus particulièrement du nano-dioxyde de titane. Les études menées en laboratoire ont montré que les nanoparticules de dioxyde de titane sont actives sur le plan immunologique et provoquent des réactions du système défensif de l'organisme. Ashwood et son équipe ont démontré que ces particules peuvent jouer un rôle important dans le déclenchement et l'aggravation d'inflammation gastro-intestinales, en absorbant des fragments de bactéries et en les faisant passer à travers le tract gastro-intestinal. De plus en 2013, une équipe dirigée par Roel Schins à l'Institut fédéral de santé environnementale à Düsseldorf a publié une étude qui laissait entendre que certaines nanoparticules, dont celles de dioxyde de titane,

peuvent provoquer des lésions au niveau de l'ADN des cellules intestinales humaines.

Oxyde de Zinc (ZnO)

Utilisations : enrobage de surface

Craintes pour la santé : l'oxyde de zinc nanométrique est toxique lorsqu'il est ingéré et il a été démontré qu'il provoque des lésions du foie, du pancréas, du cœur et de l'estomac⁴⁶. Un réexamen récent du nano-dioxyde de zinc, mené par le Comité scientifique de la Commission européenne, précisait que « des réponses toxiques positives et claires dans certains de ces tests indiquent clairement un potentiel de risques pour les humains »⁴⁷. L'exposition par inhalation au nano-dioxyde de zinc provoque une inflammation des poumons, ce qui a amené le Comité scientifique pour la sécurité des consommateurs (CSSC) à conclure que « l'utilisation de particules de dioxyde de zinc dans des produits à pulvériser ne peut être considérée comme sans danger »⁴⁸.

Cuivre

Utilisation : compléments alimentaires⁴⁹

Craintes pour la santé : l'Institut fédéral allemand pour l'évaluation des risques a comparé la toxicité aigüe des micro et nanoparticules de cuivre. Aucun effet négatif n'a été observé avec les microparticules de cuivre, par contre les nanoparticules avaient des effets nocifs sur les reins, la rate et le foie des souris⁵⁰.

Nanotubes de carbone

Utilisations : bien que la présence de nanotubes de carbone n'ait été confirmée ni dans aucun produit alimentaire ni aucun produit au contact d'aliments commercialisés, des emballages et détecteurs alimentaires contenant des nanotubes de carbone ont été développés⁵¹.

Craintes pour la santé : le Programme national australien de notification et d'évaluation des produits chimiques industriels et Safe Work Australia qui ont réexaminé la sécurité des nanotubes de carbone, trouvèrent « qu'il a été démontré que les nanotubes à parois multiples provoquaient des mésothéliomes chez les rongeurs »⁵².

Les suppléments alimentaires pourraient provoquer des problèmes de santé

Le chef du groupe de recherches sur les nanotechnologies du Laboratoire scientifique central du Royaume-Uni prévient des effets imprévisibles des nanoparticules et des nano-additifs encapsulés : « Ils peuvent être absorbés plus rapidement que souhaité ou affecter l'absorption d'autres éléments nutritifs. Nous ne savons toujours pas grand chose, voire presque rien.⁵³ »

En 2009, vu le nombre croissant de suppléments alimentaires disponibles sur le marché, le programme sur les nanotechnologies émergentes du Woodrow Wilson International Center for Scholars mettait en évidence le fait qu'aux Etats-Unis, l'Agence pour l'alimentation et les médicaments (FDA) n'avait ni le pouvoir de réglementer, ni l'expertise scientifique pour savoir si ces compléments alimentaires étaient dangereux ou pas⁵⁴.

Migration de nanomatériaux à partir des emballages

Il est possible que des nanomatériaux migrent des emballages alimentaires vers les aliments eux-mêmes. On sait que, dans les emballages alimentaires conventionnels, des polymères et des additifs chimiques, comme le bisphénol A et les phtalates, peuvent migrer de l'emballage dans les produits alimentaires⁵⁵⁵⁶. L'Institut pour les science et technologies des aliments a exprimé son inquiétude, car des nanomatériaux fabriqués sont déjà utilisés dans les emballages alimentaires, sans que l'on ne connaisse ni les taux de migrations ni les risques liés à l'exposition⁵⁷. A ce jour, il y a très peu d'études pour étudier la migration des nanomatériaux des emballages vers les aliments et les résultats n'étaient pas concluants.

Nanoparticules, maladie de Crohn et dérèglement du système immunitaire

On sait que les gens qui souffrent d'asthme sont particulièrement sensibles à la pollution de l'air. En effet, les asthmatiques agissent comme le proverbial « canari dans la mine de charbon », alertant ceux qui les entourent que les niveaux de pollution de l'air sont dangereusement élevés. Certains scientifiques pensent que la prévalence croissante de la maladie de Crohn – une grave inflammation chronique du tractus gastro-intestinal qui peut provoquer un

cancer – peut être un signal similaire en relation avec les nanoparticules dans notre nourriture⁵⁸.

On connaît encore très mal le lien entre le développement de la maladie de Crohn et des facteurs comme la prédisposition génétique, la santé du système immunitaire, la santé psychologique et des facteurs environnementaux comprenant l'exposition et la réponse physiologique aux nano et microparticules. Toutefois, certaines données indiquent que l'inflammation associée à la maladie de Crohn pourrait être expliquée par une réponse anormale ou exagérée des bactéries de l'intestin.

De nombreuses expériences *in vivo* utilisant des rats et des souris ont montré une absorption gastro-intestinale de nanoparticules⁵⁹⁶⁰⁶¹⁶²⁶³ et de petites microparticules⁶⁴⁶⁵⁶⁶. Un examen pathologique des tissus humains suggère l'ingestion et de la translocation de microparticules faisant jusqu'à 20 µm de taille⁶⁷⁶⁸.

Le taux d'absorption des substances par le tractus gastro-intestinal paraît dépendre de propriétés comme la taille et la structure de la surface. Dans une des études concernant des rats, plus les



nanoparticules étaient petites, plus grande était l'absorption par l'intermédiaire du tractus gastro-intestinal⁶⁹. Dans une autre étude, des souris étaient nourries avec des nanoparticules d'or de 4 nm. Ces dernières furent détectées ensuite dans le foie, les reins, la rate, les poumons et le cerveau. Des particules plus larges (58 nm) restaient dans le tractus gastro-intestinal⁷⁰.

D'autres études ont montré que les nanomatériaux peuvent avoir des impacts sur les intestins humains. Lorsque les cellules du colon humain furent traitées avec du polystyrène de taille nano, qui est couramment utilisé dans les emballages alimentaires, les cellules devinrent plus perméables au fer⁷¹. L'équipe de Powell observait que l'exposition quotidienne des gens dans le monde occidental à des particules minérales en dessous de la taille du millimètre avait eu pour résultat des « cellules pigmentées » chargées de ces particules dans certaines parties du tractus gastro-intestinal. Les particules observées étaient composées de silicate d'aluminium, de dioxyde de titane et d'un faible pourcentage de silicates ne contenant pas d'aluminium, comme la silice (SiO₂) et le trisilicate de magnésium (talc)⁷².

Des données préliminaires suggèrent qu'on peut établir une relation entre les niveaux existant de nanoparticules mesurant jusqu'à quelques centaines de nanomètres dans les aliments préparés et le nombre croissant de dysfonctionnement du système immunitaire et d'inflammations du tractus gastro-intestinal, y compris la maladie de Crohn⁷³⁷⁴⁷⁵⁷⁶. On a trouvé chez des individus atteints de la maladie de Crohn ou du cancer du colon, des nanomatériaux dans les tissus intestinaux⁷⁷.

Les raisons pour cette incidence disproportionnée de la maladie de Crohn dans les pays de l'hémisphère nord sont toujours sujettes à controverse, mais il est possible que la forte consommation de produits préparés industriellement joue un rôle.

Crainte pour la santé et la sécurité au travail

Dans le secteur alimentaire, les ouvriers peuvent entrer en contact avec des nanomatériaux durant la production, l'emballage, le transport et l'élimination d'aliments et de produits chimiques agricoles⁷⁸. A ce jour, il y a très peu de données portant sur l'exposition des ouvriers aux nanomatériaux.



La toxicité d'un certain nombre de nanomatériaux utilisés dans l'industrie alimentaire a été démontrée, comme l'oxyde de zinc et le dioxyde de titane lorsqu'ils sont inhalés, ce qui soulève des craintes quant à la santé et la sécurité des ouvriers qui manipulent ces matériaux⁷⁹. Cependant, en l'absence de registre obligatoire ou d'étiquetage des produits, de nombreux ouvriers peuvent ne pas avoir conscience qu'ils manipulent des nanomatériaux et qu'ils doivent utiliser un équipement de protection.

Des études ont montré que les nanomatériaux peuvent pénétrer dans le système sanguin par les poumons, ce qui soulève de très fortes inquiétudes quant à la santé et la sécurité des ouvriers⁸⁰.

Suite au réexamen des nanotubes de carbone par Safe Work Australia et le NICNAS, les nanotubes de carbone furent déclarés produits chimiques dangereux, aux fins de lois sur la santé et la sécurité⁸¹. Cette décision n'interdit pas leur utilisation, mais implique que les nanotubes de carbone utilisés sur des lieux de travail doivent être accompagnés d'une fiche de sécurité.

3. NANO-ALIMENTS SUR LE MARCHÉ

Nous connaissons mal l'étendue de l'utilisation des nanomatériaux dans les produits alimentaires. Les industriels de l'alimentaire ne sont pas tenus de dévoiler ni de détailler leur utilisation de nanomatériaux. L'Administration pour les aliments et les médicaments (FDA) ne collecte pas non plus ces informations. Si l'on ajoute à cela l'absence de lois sur l'étiquetage, les citoyens ne peuvent qu'essayer de deviner quels produits contiennent des nanomatériaux. L'absence de transparence provoque un énorme manque de connaissance non seulement pour les citoyens, mais aussi pour les organismes de réglementation et même pour certains producteurs du secteur alimentaire⁸².

Nous savons toutefois que les principales compagnies de l'alimentaire sont impliquées dans des recherches et le développement des nanotechnologies. Au moins 200 compagnies alimentaires transnationales investissent actuellement dans les nanotechnologies et sont sur le point de commercialiser des produits⁸³. On s'attend à ce que le marché des nano-aliments atteigne 20,4 milliards de dollars en 2020⁸⁴. Le Tableau 1 montre un échantillon d'entreprises impliquées dans la recherche et le développement des nanotechnologies.

Tableau 1 : échantillon d'entreprises impliquées dans la recherche et le développement des nanotechnologies⁸⁵⁸⁶⁸⁷

ENTREPRISES	
- Altria (Mondelez) - Associated British Foods - Ajinomoto - BASF - Cadbury Schweppes - Campbell Soup - Cargill - DuPont Food Industry Solutions - General Mills - Glaxo-SmithKline - Goodman Fielder - Group Danone - John Lust Group Plc	- H.J. Heinz - Hershey Foods - La Doria - Maruha - McCain Foods - Mars, Inc. - Nestle - Northern Foods - Nichirei - Nippon Suisan Kaisha - PepsiCo - Sara Lee - Unilever - United Foods

Tableau 2 : produits alimentaires susceptibles de contenir des nanomatériaux manufacturés⁸⁸

PRODUITS	
Boissons aux amandes	Bonbons
Céréale	Chocolat
Sirop de chocolat	Crème à café
Cookies	Crackers
Fromages à la crème	Beignets
Chewing-gum	Mayonnaise
Purée de pommes de terre	Lait
Bonbon à la menthe	Huile
Pâtes	Popcorn
Boissons de riz	Flan
Assaisonnement salade	Soja
Boissons sportives et autres boissons	Boisson au soja
	Yaourt

De nombreux aliments que les Etats-Uniens mangent quotidiennement contiennent des ingrédients à base de nanomatériaux (voir Tableau 2). En 2008, les Amis de la Terre publiaient un rapport qui faisait grand bruit, sur l'utilisation de nanomatériaux dans l'alimentation et l'agriculture : « Du laboratoire à notre assiette : les nanotechnologies dans l'alimentation et l'agriculture ». Six ans plus tard, le gouvernement états-unien a très peu avancé pour protéger les citoyens de ces ingrédients alimentaires potentiellement dangereux, alors que de nouveaux nano-aliments continuent d'être trouvés sur le marché.

Alors que l'Administration de l'Alimentation et des Médicaments est chargée de s'assurer de « la sécurité et de l'innocuité des approvisionnements alimentaires de notre nation », pour le moment l'agence a simplement proposé à l'industrie un guide non contraignant sur l'utilisation des nanomatériaux dans les aliments⁸⁹. Toutefois, ce projet de guide de l'Administration de 2012 sur l'utilisation des nanomatériaux met en garde contre les différentes propriétés des nanomatériaux, comparées à celles des ingrédients utilisés dans les substances alimentaires traditionnelles manufacturées⁹⁰. Néanmoins, l'absence de réglementations établies permet aux nano-produits de continuer à être

commercialisés, alors que les consommateurs absorbent des produits potentiellement dangereux pour leur santé.

Les Amis de la Terre ont compilé une liste de 87 produits alimentaires et boissons dont on sait qu'ils contiennent des nanomatériaux (voir Tableau 3, une liste de produits contenant des nanomatériaux). Nous avons établi une liste avec 79 produits supplémentaires depuis notre rapport de 2008. Le nombre de produits alimentaires nano dont nous savons qu'ils sont commercialisés a augmenté d'un facteur de plus de 10, en six ans.

Au-delà des aliments, on retrouve des nano-produits dans l'équipement des cuisines, les additifs alimentaires, certains types d'intrants agricoles, les matériaux au contact des aliments et les emballages alimentaires, ainsi que dans un vaste éventail d'autres produits. L'utilisation de nanomatériaux dans les matériaux au contact avec les aliments, y compris les emballages, les films plastiques, les récipients de stockage et les planches à découper, augmente la probabilité que des nanomatériaux soient ingérés. Il est aussi

probable que des nanomatériaux présents dans des emballages qui ne sont pas conçus pour libérer des produits chimiques (par exemple, les récipients de stockage avec du nano-argent antibactérien) puissent néanmoins migrer de l'emballage vers les aliments. On sait que des polymères et additifs chimiques présents dans des emballages conventionnels migrent de l'emballage vers les produits alimentaires. C'est le cas notamment du Bisphénol A et des phtalates⁹³⁹⁴. Inversement, on sait aussi que les arômes et les éléments nutritifs présent dans les aliments et les boissons peuvent migrer dans les emballages plastiques. Avec les nanotechnologies, on s'attend à ce que les enrobages comestibles se multiplient, ce qui provoquera une augmentation de l'ingestion de nanomatériaux (voir l'étude de cas sur les nano-fruits).



Des nanomatériaux sont déjà intégrés dans les étiquettes de certains aliments pour indiquer le degré de fraîcheur ou la température du produit alimentaire, grâce des autocollants qui affichent un code couleur. L'entreprise OnVu™ conçoit « l'étiquette qui rend la fraîcheur visible » et est déjà présente dans les supermarchés états-uniens. L'Indicateur intelligent d' OnVu™ a déjà été appliqué aux étiquettes de produits carnés⁹¹⁹².



Des nano-produits alimentaires sont aussi commercialisés pour les enfants et bébés. Plusieurs produits sont disponibles sur le marché sous forme de boissons nutritives en poudre (Toddler Health – *Santé des tout-petits* (sic !) – et NanoVM®)⁹⁵⁹⁶.

Tableau 3 : nano-aliments disponibles dans le commerce

PRODUCT NAME	MANUFACTURER	NANO CONTENT
Albertsons American Single	Albertsons	Titanium dioxide
Albertsons Cheddar Cheese Stick	Albertsons	Titanium dioxide
Albertsons Chocolate Syrup	Albertsons	Titanium dioxide
Albertsons Chocolate Sandwich Cookies	Albertsons	Titanium dioxide
Albertsons Coffee Creamer	Albertsons	Titanium dioxide
Albertsons Cream Cheese	Albertsons	Titanium dioxide
Albertsons Golden Sandwich Cookies	Albertsons	Titanium dioxide
Albertsons Italian Cheese Blend	Albertsons	Titanium dioxide
Albertsons Mini MarshMallows	Albertsons	Titanium dioxide
Albertsons Mozzarella Stick	Albertsons	Titanium dioxide
Albertsons Vanilla Pudding	Albertsons	Titanium dioxide
Albertsons Whipped Cream	Albertsons	Titanium dioxide
Best Foods Mayonnaise	Unilever	Titanium dioxide
Betty Croker Mashed Potatoes	General Mills	Titanium dioxide
Betty Croker Whipped Cream Frosting	General Mills	Titanium dioxide
Breathsavers Mints	Hershey's	Titanium dioxide
Cadbury Milk Chocolate Bar	Hershey's	Titanium dioxide
Canola Active Oil	Shemen Industries	Nano-sized self assembled structured liquids = micelles
Carnation Breakfast	Nestle	Titanium dioxide
Dentyne Fire Spicy Cinnamon	Mondelez International	Titanium dioxide
Dentyne Ice Peppermint Gum	Mondelez International	Titanium dioxide
Dickinson's Coconut Curd	Dickinson's	Titanium dioxide
Eclipse Spearmint Gum	Wrigley	Titanium dioxide
Fancy Flake Coconut	Spartan	Titanium dioxide
Fiber One Cereal	General Mills	Titanium dioxide
General Mills Trix Cereal	General Mills	Titanium dioxide
Good and Plenty Candy	Hershey's	Titanium dioxide
Hershey's Bliss Dark Chocolate	Hershey's	Titanium dioxide
Hershey's Bliss White Chocolate	Hershey's	Titanium dioxide
Hershey's Chocolate Syrup	Hershey's	Titanium dioxide
Hershey's Cookie n Cream Bar	Hershey's	Titanium dioxide
Hershey's Milk Chocolate Bar	Hershey's	Titanium dioxide
Hershey's Special Dark Bar	Hershey's	Titanium dioxide

Tableau 3 : nano-aliments disponibles dans le commerce (suite)

PRODUCT NAME	MANUFACTURER	NANO CONTENT
Hostess Frosted Donettes	Hostess	Titanium dioxide
Hostess Powdered Donettes*	Hostess	Titanium dioxide
Hostess Twinkies	Hostess	Titanium dioxide
Jello Banana Cream Pudding	Kraft	Titanium dioxide
Junior Mints	Tootsie	Titanium dioxide
Keebler Pepper Jack Crackers	Kellogg's	Titanium dioxide
Knorr Pasta Sides Pasta	Unilever	Titanium dioxide
Kool Aid Blue Raspberry	Kraft	Titanium dioxide
Kool Aid Lemonade	Kraft	Titanium dioxide
Kraft American Single	Kraft	Titanium dioxide
Kraft Easy Cheese	Kraft	Titanium dioxide
Kraft Jet Puffed FunMallows	Kraft	Titanium dioxide
Kraft Jet Puffed MarshMallows	Kraft	Titanium dioxide
Kraft Mayo	Kraft	Titanium dioxide
Kraft Miracle Whip	Kraft	Titanium dioxide
Kraft Parmesan Cheese	Kraft	Titanium dioxide
Kraft Velveeta	Kraft	Titanium dioxide
Lays Ranch Seasoning Mix	FritoLay	Titanium dioxide
Lindt Milk Chocolate	Lindt	Titanium dioxide
Lindt White Chocolate	Lindt	Titanium dioxide
M&Ms Chocolate Candy	Mars, Inc.	Titanium dioxide
M&Ms Chocolate with Peanuts	Mars, Inc.	Titanium dioxide
Maternal Water	La Posta del Aguila	Silver
Mentos Freshmint Gum	Perfetti Van Melle	Titanium dioxide
Mentos Mints	Perfetti Van Melle	Titanium dioxide
MesoGold®	Purest Colloids, Inc.	Titanium dioxide
Mini Whoppers Eggs	Hershey	Titanium dioxide
Minute Rice	Riviana Foods	Titanium dioxide
Mothers Oatmeal Iced Cookies	Kellogg's	Titanium dioxide
Nabisco Chips Ahoy	Kraft	Titanium dioxide
Nabisco Oreo	Kraft	Titanium dioxide
Nabisco Sugar Free Oreo	Kraft	Titanium dioxide
Nanoceuticals™ Slim Shake Chocolate	RBC Life Sciences®, Inc.	Titanium dioxide

Tableau 3 : nano-aliments disponibles dans le commerce (suite)

PRODUCT NAME	MANUFACTURER	NANO CONTENT
Nanotea	Shenzhen Become Industry & Trade Co., Ltd.	Nano-ball milling procedures
Nestle French Vanilla Coffee Mate	Nestle	Titanium dioxide
Nestle Original Coffee Creamer	Nestle	Titanium dioxide
Peeps Marshmallows	Born Candy Co.	Titanium dioxide
Philadelphia Cream Cheese	Kraft	Titanium dioxide
Pina Colada Sobe	South Beach Beverage Co., Inc.	Titanium dioxide
Powdered donuts*	Dunkin' Donuts	Titanium dioxide
Primea Ring	Saeco USA Inc.	Silver
Ragu Classic Alfredo	Unilever	Titanium dioxide
Richardson Pastel Mints	Richardson's	Titanium dioxide
Shamrock Farms Fat Free Milk	Shamrock Foods	Titanium dioxide
Smuckers Orange Cream Shell	Smuckers	Titanium dioxide
Tic Tac Mints	Ferrero	Titanium dioxide
Trident White Peppermint Gum	American Chicle	Titanium dioxide
Turkey Gravy		Titanium dioxide
Vanilla Milkshake Pop Tarts*	Kellogg's	Titanium dioxide
Vics White Cheddar Popcorn	Vic's Corn Popper	Titanium dioxide
White M&Ms*	Mars, Inc.	Titanium dioxide
Wishbone Ranch Dressing	Unilever	Titanium dioxide

Note : cette liste se base sur l'Inventaire des produits de consommation du « Project on Emerging Nanotechnologies » du 19 février 2014⁹⁷. Toutefois, les industriels changent la formulation de leurs produits de temps en temps et il se peut que ces changements ne soient pas pris en compte dans cette liste. Les Amis de la Terre n'ont pas mené de tests sur ces produits et ne peuvent garantir leur contenu en nano-produits. Une étude en laboratoire commandée par As You Sow en 2013 a montré que les produits marqués d'un astérisque contiennent des nanomatériaux⁹⁸.

Enrobages alimentaires comestibles

La manipulation des matériaux à l'échelle nanométrique permet aux scientifiques de l'alimentation de créer des « films feuilletés comestibles » qui peuvent être utilisés comme couches isolantes pour prolonger la durée de conservation. Ces films peuvent contenir des lipides ou des argiles comme barrières contre l'humidité ; des bio-polymères comme les glucides, comme barrières contre l'oxygène et le dioxyde de carbone ou des nanoparticules et des nano-gouttelettes émulsifiées qui peuvent contenir des ingrédients pour améliorer le goût, la texture et l'apparence⁹⁹. Des substances

antibactériennes comme le nano-argent peuvent être aussi directement intégrées dans l'enrobage comestible comme pour les emballages de la viande¹⁰⁰.

Des enrobages comestibles contenant des nanomatériaux manufacturés ont été signalés comme étant déjà utilisés pour rallonger la durée de conservation des fruits et des légumes sur les marchés des Etats-Unis et du Canada¹⁰¹. Des tests menés dans des fermes des Amériques Centrale et du Sud mirent en évidence le fait que nombreux fruits et légumes avaient un nano-enrobage : pommes, poires, poivrons, concombres et autres produits destinés aux Etats-Unis et au Canada¹⁰².

4. NANO-ALIMENTS ET NANO-AGRICULTURE POSENT DE NOUVEAUX DANGERS POUR L'ENVIRONNEMENT

Les nanomatériaux actuellement utilisés dans le commerce posent de graves dangers écologiques

Les nanomatériaux utilisés dans le système agro-alimentaire vont inévitablement se retrouver dans l'environnement sous forme de déchets, en lien avec les processus de fabrication, leur utilisation (y compris l'ingestion et l'excrétion) ou leur élimination. Il y a en plus, les nanomatériaux qui sont volontairement disséminés dans l'environnement, par exemple les nano-produits agro-chimiques et les nano-aliments pour animaux utilisés dans les exploitations agricoles. Les premières études ont démontré que les nanomatériaux déjà commercialisés présentaient de graves dangers pour des espèces comme le black bass et les puces d'eau (*Daphnea magna*), qui sont utilisées par les autorités de réglementation comme indicateurs écologiques (voir Tableau 4)

Des études préliminaires suggèrent que les nanomatériaux peuvent s'accumuler (et probablement même voir leur effets amplifiés) dans les organismes le long de la chaîne alimentaire^{103,104}. On ne sait pas dans quelles proportions les nanomatériaux vont « s'agréger » les uns aux autres dans l'environnement, pour former des particules plus grandes qui pourraient présenter des risques toxiques réduits. Les risques écologiques associés à la nano-toxicité demeurent très peu compris, ce qui souligne le besoin urgent de recherches complémentaires¹⁰⁵.

Les Amis de la Terre ont exprimé leur vive inquiétude sur la généralisation de l'usage du nano-argent et d'autres matériaux antimicrobiens dans des produits industriels ou de consommations¹⁰⁶ et sur les conséquences que cela implique pour l'environnement. On a constaté chez les fullerènes¹⁰⁷, le nano-dioxyde de

titane, le nano-oxyde de zinc¹⁰⁸, le nano-argent, les nanotubes de carbone mono-paroi¹⁰⁹ et d'autres nanomatériaux, des propriétés antimicrobiennes. Pourtant les effets des nanomatériaux sur les microbes, les bactéries et les champignons – base de tout écosystème – restent largement méconnus. La commercialisation accrue de nanomatériaux avec un fort pouvoir antibactérien et leur présence accrue dans les flux de déchets pourraient perturber le fonctionnement de bactéries bénéfiques dans l'environnement au sens large, par exemple sur les bactéries qui agissent sur la nitrification et la dénitrification dans les eaux douces et l'environnement marin¹¹⁰. Des nano-agents antimicrobiens peuvent aussi se glisser dans des populations microbiennes et perturber le fonctionnement des bactéries fixatrices d'azote associées à des plantes¹¹¹. Toute perturbation importante de la nitrification, de la dénitrification ou des processus de fixation de l'azote pourrait avoir de graves conséquences sur le fonctionnement d'écosystèmes entiers. A cela s'ajoute le risque qu'une utilisation généralisée de produits antimicrobiens provoque un renforcement de la résistance dans des populations de bactéries dangereuses^{112,113}.

Des études antérieures ont déjà montré que les nanomatériaux commercialisés présentent des dangers sérieux pour des espèces aquatiques importantes.

Tableau 4 : preuves expérimentales de l'écotoxicité de nanomatériaux actuellement commercialisés

NANOMATÉRIAUX ET APPLICATIONS ACTUELLES	TAILLE ET DESCRIPTION PHYSIQUE	PREUVE EXPÉRIMENTALE DE TOXICITÉ
Dioxyde de titane Utilisation sous forme nano dans les crèmes solaires, les verres autonettoyants, la réhabilitation, et largement utilisé sous forme micro dans les aliments et les cosmétiques.	30 nm	Tue des puces d'eau (<i>Daphnae magna</i>) ¹¹⁴ qui sont utilisées par les autorités de réglementation comme indicateur écologique
	25 nm anatase (une des formes de l'oxyde de titane)	Le TiO ₂ éclairé par des UV est toxique pour des algues et des puces d'eau ¹¹⁵
Zinc Utilisé en électronique, optoélectronique, détecteur de gaz, crèmes solaires, cosmétiques, emballages alimentaires, peintures	Nanoparticule de dioxyde de zinc, taille non connues	Toxique pour des algues et les puces d'eau (<i>Daphnae magna</i>) ¹¹⁶
Nanomatériaux à base de carbone Noir de carbone utilisé dans les pneus et les teintures ; nanotubes de carbone utilisés dans les matériaux et tissus pour certaines voitures spéciales et avions, usage potentiel dans l'emballage ; fullerènes utilisés en cosmétique, usage potentiel en médecine, dans les batteries et l'électronique	C60 fullerènes	Solubles dans l'eau, provoquent des lésions du cerveau (peroxydation lipidique) chez de jeunes black bass (<i>Micropterus salmoides</i>) ¹¹⁷ , utilisés par les autorités de réglementation comme indicateur écologique. Une étude ultérieure trouvait que les fullerènes rendus solubles avec du tétrahydrofuranne (THF) étaient encore plus toxiques que les fullerènes solubles, avec 100 % de mortalité pour les poissons exposés au C60-THF, entre 6 et 18 heures ¹¹⁸

	Nanotubes de carbone mono-paroi	Des sous-produits provenant de leur fabrication provoquent une mortalité accrue et un retardement du développement de petits invertébrés estuariens, <i>Amphiascus tenuiremis</i> ¹¹⁹
	Nanotubes de carbone mono-paroi	Des sous-produits provenant de leur fabrication provoquent un retard de l'éclosion des embryons de poissons zèbres (<i>Danio rerio</i>) ¹²⁰
	C60 fullerènes	Tuent des puces d'eau (<i>Daphnae magna</i>) ^{121,122}
	C60 fullerènes et C60HxC70Hx	Ont provoqué des modifications physiologiques et comportementales chez les puces d'eau, qu'on associe à un risque accru de prédation et de baisse de la reproductivité ¹²³
	C60 fullerènes	Toxiques pour les microbes, nuisent à la croissance et diminuent la respiration ¹²⁴
Aluminium Utilisé dans les cosmétiques, les crèmes solaires, les revêtement anti-rayures	13 nm	De forts niveaux d'exposition provoquent un retardement de la croissance du maïs, des concombres, du soja, des carottes et des choux ¹²⁵

La Société royale et l'Académie royale d'ingénierie du Royaume-Uni ont demandé que la dissémination dans l'environnement de nanomatériaux soit « évitée autant que possible » et que la dissémination volontaire « soit interdite jusqu'à que des études appropriées aient été menées et qu'il soit démontré que les bénéfices possibles contrebalancent les risques potentiels »¹²⁶.

En mai 2003, un groupe de scientifiques états-uniens publiait la première évaluation mondiale des émissions possibles de nanomatériaux dans l'environnement et les décharges. Ils estimaient ainsi qu'en 2010, 260 000 à 309 000 tonnes de nanomatériaux produits mondialement se retrouvaient dans des décharges (de 63 à 91 %), dans les sols (de 8 à 28 %), dans les plans d'eau (0,4 à 7 %) et dans l'atmosphère (0,1 à 1,5 %). D'après les auteurs, il n'était pas possible de présenter des estimations plus précises par manque de données disponibles.

On estime que le marché mondial des nanomatériaux approche les 11 millions de tonnes. Le carbone industriel représente et de loin la part la plus importante du marché avec 85 % du tonnage, suivi de la silice avec 12 %. On pense que le nano-titane et le nano-argent sont les nanomatériaux les plus utilisés dans l'alimentation et les matériaux en contact avec les aliments¹²⁷.

Comme le notait le Comité scientifique de la Commission européenne sur les risques pour la santé émergents et nouvellement découverts, « l'usage accru de nano-argent dans des produits de consommation et médicaux fait que les nanoparticules vont se retrouver dans l'environnement. L'activité qui fait qu'elles sont les bienvenues comme agents antimicrobiens pourrait aussi présenter un danger pour les communautés microbiennes dans l'environnement »¹²⁸.

Conséquences sur les écosystèmes aquatiques

Une revue récente des recherches toxicologiques sur les nano-oxydes métalliques d'argent, cuivre et zinc signalait qu'ils sont extrêmement toxiques pour les organismes d'eaux douces comme les poissons et les algues, les crustacées étant les plus touchés¹²⁹.

Le dioxyde de titane un des nanomatériaux les plus utilisés, provoque chez les truites arc en ciel des pathologies au niveau des organes, des perturbations biochimiques et une détresse respiratoire¹³⁰. Le dioxyde de titane est aussi toxique pour les algues et les puces d'eau, surtout après exposition à un rayonnement d'UV^{131,132}.

Impacts sur les sols

D'après une étude états-unienne, les émissions vers les sols représentent près d'un quart des flux de nanomatériaux, et proviennent principalement de l'élimination des biosolides (boues d'épuration) sur les terres agricoles¹³³. C'est préoccupant, car des études ont montré que les nanomatériaux peuvent être néfastes pour les micro-organismes du sol, les plantes, les nématodes et les vers de terre, et empêcher la fixation de l'azote¹³⁴¹³⁵¹³⁶.

Une autre étude états-unienne récente trouvait que les nanoparticules métalliques ou d'oxyde de métaux tendaient à s'accumuler dans les sols où elles étaient appliquées et non pas à s'agréger ou se dissoudre et pouvaient être toxiques pour les micro-organismes du sol, les plantes, les nématodes et les vers de terre¹³⁷. On a observé des effets négatifs similaires sur les vers de terre, en réaction à d'autres nanoparticules¹³⁸.

L'équipe de Colman a étudié récemment une expérience sur le terrain à long terme et a trouvé des effets négatifs sur les plantes et les micro-organismes, suite à l'application de biosolides d'épuration contenant une faible dose de nano-argent¹³⁹. Le traitement avec du nano-argent a entraîné des modifications dans la composition des communautés microbiennes, la biomasse, l'activité enzymatique extracellulaire, et a aussi affecté certaines espèces de plantes aériennes. On a aussi noté une augmentation des flux de protoxyde d'azote (N₂O), ce qui est important car il s'agit d'un gaz à effet de serre connu, avec un potentiel de réchauffement planétaire 296 fois plus élevé que le gaz carbonique.

Toute perturbation importante de la nitrification, de la dénitrification ou des processus de fixation de l'azote pourrait avoir des conséquences négatives sur le fonctionnement

d'écosystèmes entiers. A cela s'ajoute le risque qu'une utilisation généralisée de produits antimicrobiens provoque un renforcement de la résistance dans des populations de bactéries dangereuses¹⁴⁰.

Bioaccumulation de nanomatériaux

Un certain nombre d'études ont montré que des espèces végétales pouvaient absorber les nanomatériaux du sol¹⁴¹. Il s'agit donc d'une voie potentielle pour que les nanomatériaux contenus dans les boues d'épuration puissent se retrouver dans la chaîne alimentaire. Un rapport récent de l'Agence européenne de l'environnement concluait qu'« on sait très mal dans quelle mesure des nanomatériaux particuliers sont bio-accumulables ou provoquent des conséquences irréversibles, mais l'état actuel de nos connaissances nous laisse penser que ce potentiel existe pour de tels comportements dans certaines circonstances »¹⁴².

Dangers des pesticides contenant des nano-ingrédients

L'utilisation de pesticides avec des nano-ingrédients peut poser des risques particuliers à cause des nanomatériaux qui sont plus puissants et se comportent différemment par rapport aux produits chimiques conventionnels et parce qu'ils sont appliqués en grandes quantités et sur de grandes surfaces en agriculture industrielle.

Le terme « nano-pesticides » recouvre une grande variété de produits et ne décrit pas une catégorie unique. De nombreuses nano-formulations combinent plusieurs surfactants, polymères et nanoparticules de métaux dans la plage dimensionnelle nanométrique¹⁴³.

Les produits agro-chimiques conventionnels – pesticides, engrais, traitements des semences – ont déjà contribué à la pollution des sols et de l'eau, provoqué des perturbations des écosystèmes et entraîné une perte de biodiversité¹⁴⁴. On peut craindre qu'une utilisation généralisée de nano-produits chimiques va encore aggraver les problèmes existants.

Certains prétendent que l'utilisation de nano-produits chimiques va réduire la consommation globale de pesticides. On ne peut être que sceptique puisque ce sont, en grande partie, les mêmes entreprises qui nous ont fait les mêmes promesses non tenues à propos des OGM.

Il est probable que les nanotechnologies vont intensifier les tendances actuelles vers des exploitations agricoles toujours plus grandes et industrialisées, ciblant toujours plus la production de quelques cultures spécialisées^{145,146}, avec comme conséquence, une biodiversité agricole et écologique toujours plus pauvre.

La dissémination volontaire de nano-produits chimiques agricoles dans l'environnement est extrêmement inquiétante

Les nano-formulations des produits agro-chimiques existants peuvent être encore plus réactives, plus bioactives et induire des risques pour la santé et l'environnement encore plus graves que les produits chimiques agricoles conventionnels qu'elles remplacent.

L'utilisation de nano-produits chimiques agricoles est particulièrement inquiétante, d'autant que l'on ne sait que très peu de choses sur le comportement dans l'environnement des nano herbicides, pesticides, engrais et traitements de croissance des plantes, sur la manière dont ils vont affecter des organismes non cibles ou sur les graves risques éco-nano-toxicologiques potentiels qu'indique le petit nombre d'études menées à ce jour. De toute évidence, nous sommes sur le point de répéter toutes les erreurs que nous avons faites en adoptant avec enthousiasme les produits agro-toxiques conventionnels dont les effets à long terme pour la santé et l'environnement sont supportés en premier lieu par la communauté agricole et par les systèmes écologiques dans le monde entier.

Les produits agro-toxiques conventionnels ont pollué les sols, les cours d'eau et provoqué des bouleversements importants de ces écosystèmes^{147,148,149}. Le lien a été établi entre l'augmentation du nombre de cancers et de graves problèmes de reproduction chez les agriculteurs et leur familles, et l'exposition à des

produits agro-toxiques^{150,151,152}. C'est donc avec beaucoup d'inquiétude que nous assistons à l'utilisation dans les exploitations agricoles de nano-agro-toxiques et à leur dissémination dans l'environnement, en l'absence de toute réglementation qui exigerait des fabricants qu'ils démontrent l'innocuité de ces nouvelles nano-formulations encore plus puissantes que celles des produits chimiques existants.

Paradoxalement, l'utilisation de nanomatériaux soulève un grand intérêt pour la réhabilitation écologique, par exemple pour le nettoyage de panaches toxiques en lien avec l'utilisation passée des pesticides agricoles¹⁵³. Des dizaines de sites aux Etats-Unis, en Europe et ailleurs ont déjà été injectés avec des dizaines de tonnes de nanoparticules pour procéder à leur réhabilitation ou dans le but de traiter des déchets¹⁵⁴, bien qu'aucune étude n'ait été menée pour évaluer l'efficacité de ces expériences, ni l'innocuité de ces nanoparticules pour des espèces écologiquement importantes¹⁵⁵.

Il existe très peu d'informations publiées et examinées par un comité de lecture, disponibles sur les résultats de ces disséminations. Par contre, elles ne peuvent que fortement inquiéter étant donné les premières preuves que les nanomatériaux présentent toute une série de nouvelles menaces écologiques¹⁵⁶. La Société royale et l'Académie royale du Royaume-Uni ont prévenu que l'utilisation de nanomatériaux pour la réhabilitation de panaches toxiques pourrait introduire un ensemble de nouveaux agents polluants qui posent des risques écologiques encore plus grands. Elles ont demandé que la dissémination dans l'environnement de nanomatériaux soit « évitée autant que possible » et que la dissémination volontaire pour dépolluer ou dans tout autre but, « soit interdite jusqu'à que des études appropriées aient été menées et qu'il soit démontré que les bénéfices possibles contrebalancent les risques potentiels »¹⁵⁷.

Les nano-biotechnologies et la biologie de synthèse posent des risques encore moins bien appréhendés

La prochaine génération de nano-produits agricoles – plantes manipulées utilisant les nano-biotechnologies, par exemple, ou des organismes biologiques synthétisés conçus pour

assister la production d'agrocarburants – posera des risques écologiques encore plus complexes que ceux des nano-produits chimiques agricoles. Le génie génétique est une technologie qui permet de transférer des gènes d'une espèce à une autre, d'une façon qui ne se produit pas dans la nature. Alors que les nanoparticules sont maintenant utilisées par les biotechniciens comme nouvel outil de manipulation génétique des plantes et animaux, les nombreux dangers potentiels de ces plantes manipulées par nano-biotechnologies rappellent ceux des organismes génétiquement modifiés. L'utilisation de plantes génétiquement modifiées pour tolérer des herbicides, résister à des insectes ou des virus provoquera l'envahissement accru par des espèces sauvages apparentées, le développement chez les plantes de résistances aux herbicides, insectes et virus, des impacts négatifs sur les populations animales de par une réduction de la nourriture disponible, le développement de virus plus virulents et plus difficiles à contrôler, des effets toxiques pour des espèces non cibles et des bouleversements au niveau des écosystèmes, suite à l'un ou l'autre de ces problèmes¹⁵⁸.

Malgré la commercialisation rapide et généralisée des plantes GM et l'incapacité des industriels à éviter la contamination des cultures sans OGM¹⁵⁹, les impacts au niveau des écosystèmes sont toujours aussi peu compris. Alors que les recherches ont montré que les plantes GM peuvent avoir des effets négatifs sur les chrysopes, les papillons monarques, les coccinelles et sur les organismes qui vivent dans le sol, et que des modélisations ont prévu un déclin spectaculaire des populations d'alouettes européennes si la betterave à sucre GM tolérante à un herbicide était autorisée, Batie fait remarquer que cela pourrait prendre des décennies de suivi écologique à grande échelle pour déterminer les impacts sur les écosystèmes de l'utilisation de plantes GM¹⁶⁰. De plus, notre capacité à déterminer les modifications écologiques provoquées par les plantes GM est mise à mal par un suivi complètement inadapté des effets écologiques, tant au niveau des champs qu'au niveau des écosystèmes¹⁶¹.

Aux risques écologiques potentiels, s'ajoute l'inquiétude de voir la commercialisation agressive, au niveau mondial, de quelques

plantes high-tech provoquer un nouveau déplacement de variétés végétales régionales et une aggravation de l'érosion de la biodiversité agricole. Qui plus est, les plantes tolérantes aux herbicides et les plantes qui produisent des pesticides non seulement nous enferment encore plus dans notre dépendance à des produits chimiques toxiques pour les opérations agricoles, mais sont susceptibles de réduire la biodiversité sur les exploitations agricoles, notamment celle des oiseaux et insectes bénéfiques. Ce recours à des plantes conçues pour supporter des traitements plus importants de produits agro-chimiques ou pour elles-mêmes produire des pesticides, nous éloigne encore plus de la mise en place de systèmes, écologiquement inoffensifs, de gestion intégrée des ravageurs, systèmes qui sont la base des modèles agricoles biologiques ou agro-écologiques.

Les risques pour l'environnement et la biosécurité, inhérents au domaine émergent de la biologie de synthèse, sont encore plus difficiles à quantifier, sans même parler de les contrôler. La biologie de synthèse est une forme extrême de génie génétique, avec laquelle les scientifiques écrivent sur ordinateur, des codes génétiques entièrement nouveaux et les « impriment » pour les insérer dans des organismes dans le but d'obtenir certaines fonctions. Les organismes obtenus par biologie de synthèse sont conçus pour l'agriculture, la production d'énergie et d'agrocarburant, pour des aliments et la transformation des aliments, la séquestration du carbone, la réhabilitation écologique, la médecine, les processus de fabrications et des applications militaires notamment¹⁶². De nombreux organismes obtenus par biologie de synthèse sont destinés à être disséminés volontairement dans l'environnement. La contamination génétique mondiale et à grande échelle - à la fois des cultures sans OGM, mais aussi de l'industrie alimentaire sans OGM¹⁶³ - montre combien il est difficile d'empêcher la contamination dans un secteur industriel qui travaille avec des organismes qui se reproduisent et avec des millions de personnes. Nous serons tout aussi incapables de contenir les organismes obtenus par biologie de synthèse.

Une fois relâchés dans l'environnement, que ce soit volontairement ou accidentellement, les organismes obtenus par biologie de synthèse vont poser toute une série de graves problèmes écologiques : bouleversement, déplacement, infection d'autres espèces ; modification de l'environnement dans lequel ils ont été introduits dans la mesure où des fonctions écosystémiques deviennent déficientes ; et colonisation au sein d'un système, telle qu'il devient impossible de les éliminer¹⁶⁴. De nombreux chercheurs en biologie de synthèse travaillant sur des circuits génétiques assez simples rapportent que la mutation rapide des circuits est un des principaux défis à leur travail. La possibilité que des organismes de synthèse relâchés dans l'environnement puissent muter de façons imprévisibles est particulièrement inquiétante. Un des pires scénarios pourrait être l'introduction accidentelle dans l'environnement d'un organisme synthétique conçu pour transformer les résidus de maïs en éthanol, ce qui serait catastrophique.

Les nanotechnologies dans l'agriculture et la production agricole ont un coût écologique plus élevé

Le développement des nanotechnologies dans l'agriculture a comme conséquence écologique la plus insidieuse, le fait qu'il nous enferme dans ce modèle agricole industriel dominant qui dépend d'une utilisation intensive de la chimie. Les nanotechnologies vont encore aggraver les caractéristiques de ce modèle agricole, à savoir les tendances à aller vers des exploitations toujours plus grandes, à produire un nombre toujours plus réduit de cultures spécialisées, à perdre toujours plus de biodiversité cultivée ou sauvage, à dépendre toujours plus des apports de produits chimiques et à avoir une approche toujours plus fragmentée de la gestion agricole. On s'éloignera encore plus de la vraie agriculture dont un des points essentiels est de maintenir et renforcer la biodiversité agricole et écologique. Il a été démontré qu'elles présentent de nombreux avantages écologiques, car elles réduisent la consommation d'eau et d'énergies fossiles, produisent plus de matière organique et d'azote et diminuent l'érosion du sol. De plus et comme l'on rappelaient 60 experts internationaux des Nations Unies, « le

monde produit actuellement suffisamment de calories pour nourrir une population comprise entre 12 et 14 milliards d'humains »¹⁶⁵. Les recherches des Nations Unies confirment que « la faim et la malnutrition sont des phénomènes non pas dus à un manque physique de nourriture, mais sont le résultat de la pauvreté dominante et avant tout un problème d'accès à la nourriture »¹⁶⁶. Selon un rapport de l'Institut pour l'agriculture et les politiques commerciales (IATP) de 2013, « il n'y a aucun secteur informé ou largement représentatif qui soutienne une réglementation des nanomatériaux dans les engrais ou les biosolides, afin de protéger la santé et la biodiversité des sols »¹⁶⁷.

L'usage accru des nanotechnologies dans l'industrie alimentaire et les emballages va aggraver le bilan écologique global, car les aliments pourront voyager encore plus loin, seront encore plus transformés et nécessiteront encore plus d'énergie. Le système agro-

alimentaire des Etats-Unis consomme déjà plus de 2,9 millions de milliards de KW/h d'énergie chaque année, l'équivalent de la consommation annuelle totale de la France. L'agriculture – faire pousser les plantes – ne représente que 20 % de la dépense. Les 80 % restants servent aux transports, à la transformation, à l'emballage, à la vente et au stockage des aliments après qu'ils aient quitté les exploitations agricoles¹⁶⁸. Il est assez incroyable de penser que la fabrication de céréales pour le petit déjeuner nécessite 3 232 kilocalories par kg, soit 5 fois plus que l'énergie contenue dans les céréales elles-mêmes¹⁶⁹. Les nano-aliments vont être encore plus transformés qu'aujourd'hui, ce qui nécessitera une consommation d'énergie toujours plus importante pour les produire. De même, les nano-emballages alimentaires dont le premier but est de prolonger la durée de conservation des aliments, vont pousser les fabricants à transporter leurs produits toujours plus loin, ce qui augmentera les émissions de gaz à effet de serre, liées aux transports alimentaires.

5. Situation actuelle en France

En 2012, 500 000 tonnes de nanomatériaux ont été utilisées en France, dans 3 400 produits à base de nanomatériaux. ¹⁷⁰

Ce chiffre ne reflète qu'imparfaitement la réalité, car la définition des nanoparticules retenue est très restrictive. L'échelle retenue est 100 nm, alors que cette taille est, comme nous l'avons démontré plus haut, totalement arbitraire, des particules de taille allant jusqu'à 1000 nm peuvent poser des risques importants pour la santé et l'environnement. C'est le comportement physiologique et anatomique des petites particules qui devrait déterminer leur classement, pas des distinctions de taille arbitraires.

Dans ce bilan, il y a deux grands absents et non des moindres : le nano-argent et les nano-tubes de carbone. Le nano-argent est utilisé comme agent anti-bactérien dans de très nombreux produits en contact direct avec le corps ou les aliments (voir plus haut).

De même les nano-tubes de carbones n'apparaissent pas en tant que tels. Pourtant, on estime que l'usine Arkema, à Mont, près de Lacq dans les Pyrénées Atlantiques, en produit près de 400 tonnes par an¹⁷¹.

Comme on l'a vu plus haut, ces deux types de nano-produits présentent des risques pour la santé et l'environnement particulièrement importants.

De plus, les mesures d'étiquetage ou de protection des ouvriers, de l'environnement et des citoyens restent à l'état embryonnaire...

Mais l'important pour nos dirigeants, comme nous le notions plus haut, c'est de « *préserver l'acceptation par la société de produits utiles à nos industries de Défense et nos industries duales, issus des nanotechnologies et de la biologie de synthèse.* »¹⁷² Les nanoparticules, les produits issus de la biologie de synthèse peuvent continuer d'envahir en silence notre environnement quotidien...

6. POSITION DES AMIS DE LA TERRE FRANCE (2009)

La justice sociale et environnementale, alliée au respect des libertés et droits humains de tous les habitants de la planète, est au cœur des valeurs des Amis de la Terre. Elle motive notre position sur les nanotechnologies.

1. LES ENJEUX

Marchés évalués en milliers de milliards d'euros ; crainte d'un "retard" dans la concurrence internationale ; débat public 2009 axé sur les options *de développement et de régulation* des nanotechnologies sans que soient jamais abordées les questions de l'opportunité sociale et de l'acceptabilité morale d'investir dans ces trouvailles d'ingénierie scientifique qui prétendent "révolutionner nos existences" ... Le nanomonde est partout présenté comme le nouveau visage du "progrès", les populations étant sommées de s'y résoudre en échange de mirifiques promesses et de quelques gadgets.

Or les "nanos" sont bien moins un nouveau champ scientifico-technique qu'un très idéologique projet de société : à l'heure où recréer un virus éradiqué et en bricoler de nouveaux devient à la portée d'étudiants, certains rêvent d'une "convergence" NBIC entre nano-bio-techs, informatique et neurosciences, censée "améliorer" la matière inerte et les êtres vivants. Des études confirment déjà des risques majeurs de catastrophes sanitaires et environnementales... que le simple bon sens suffisait à subodorer. A ces périls systémiques à court terme, potentiellement irréversibles et quasi incontrôlables, s'ajoutent de très sérieuses et immédiates menaces pour les libertés.

Pour les Amis de la Terre, *la gravité de la situation est désormais telle qu'un moratoire global et prolongé s'impose*. Tant que ne seront pas réunies les conditions d'un vrai débat collectif, loyal et sincère, autour des priorités et conditions d'une recherche scientifique et industrielle au service du bien commun, *un gel de toute recherche en nanosciences comme de la commercialisation de nanoproduits devient pour*

nous la seule option humainement responsable.

NANOTECHOLOGIES : DE QUOI PARLE-T-ON ?

Forgé en 1974, le terme "nanotechnologies" concernait l'usinage de matériaux avec une précision de l'ordre du nanomètre ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 1$ milliardième de mètre). La première "photo" d'une molécule remonte à 1957. Depuis la fin des années 80, la mise au point d'instruments comme le microscope à effet tunnel permet d'envisager, dans des conditions strictes, de déplacer et assembler quelques atomes pris individuellement.

. Deux grands axes

La démarche dite descendante (*top down*), la plus ancienne et répandue, miniaturise des appareils (composants d'ordinateurs, puces RFID d'identification par radiofréquence, électrodes...) ou réduit des substances en particules toujours plus fines. La démarche ascendante (*bottom up*) vise à élaborer de minuscules dispositifs, idéalement autonomes, à partir de "briques" élémentaires (atomes, molécules, fractions de génome...). Pour certains, seule cette dernière est assez nouvelle pour mériter l'appellation de nanosciences et techniques (NST).

En pratique, dans le langage courant, on parle de nano-objets ou nanoparticules quand au moins une dimension (longueur, largeur, épaisseur) est comprise entre 1 et 100 nm. La notion de "nanos" recouvre ainsi des domaines très hétérogènes, tout ce qui a trait à la matière inerte ou vivante pouvant, en théorie, dans une optique mécanique et réductionniste, se ramener en dernière instance à cette échelle.

. Quelques ordres de grandeur :

- rayon des atomes : 0,1 nm ; de la double hélice de l'ADN : 1 nm - taille des virus : 20 à 450 nm ; diamètre des fibres d'amiante fines : < à 200 nm
- longueur d'onde de la lumière visible : 400 nm (violet) à 800 nm (rouge) - taille des bactéries : 1 000 à 10 000 nm (1 à 10 micromètres) - diamètre d'un cheveu : 80 micromètres (80 000 nm).
- cellules humaines : 7 micromètres (hématies) à 150 (ovules) voire 250 (certains

neurones)

EST-CE VRAIMENT SI NOUVEAU... ET SI PROMETTEUR ?

Depuis la construction en 1945 de l'ENIAC, premier ordinateur entièrement électronique (17 468 tubes à vide, 70 000 résistances, 30 tonnes sur 67 m²) et l'apparition dans les années 60 des circuits intégrés ou "puces" électroniques, la miniaturisation procède à un rythme soutenu et assez constant. La biologie moléculaire, ou génie génétique, date des années 30 et les physiciens atomistes travaillent depuis longtemps à des échelles nanométriques ou moindres. On assiste toutefois à un saut qualitatif, aussi lié à la volonté de combiner bits, atomes, neurones et gènes en mêlant des disciplines dont les "exploits" spécifiques posent déjà de graves problèmes éthiques et pratiques, loin d'être résolus.

• Propriétés "magiques" et effets incontrôlables

Nanocuir élastique à température ambiante, nanotubes de carbone cent fois plus résistants que l'acier pour un poids six fois moindre, dioxyde de titane des écrans solaires transparent sous forme de nanoparticules au lieu de sa blancheur habituelle... Ces changements sont dus à une augmentation colossale de la surface de contact par rapport au volume – ce qui accroît la réactivité chimique – et à l'apparition, en bas de l'échelle, d'effets quantiques affectant le comportement optique, électrique et magnétique des matériaux.

Cela représente tout un champ d'exploration... et des toxicités potentiellement variables pour chaque taille ou forme de nanoparticule. Ainsi, le nanocarbone peut être constitué de sphères (*fullerènes*) ou bien de fibres (une cinquantaine de types de *nanotubes*) dont on sait déjà que les effets s'apparentent à ceux de l'amiante.

• Nanotoxicité

Quantité de nanoparticules sont assez petites pour pénétrer au cœur des cellules. Certaines gagnent le cerveau par les nerfs olfactifs, échappant au filtre de la barrière hémato-encéphalique. Des chercheurs italiens imputent le syndrome de la guerre du Golfe et plusieurs décès étonnamment rapides après celle du

Kosovo à des phénomènes de nanotoxicité, liés à la dispersion d'aérosols créés lors de l'explosion d'armes à l'uranium appauvri : les cellules lymphatiques de soldats autopsiés étaient truffées de nanoparticules. Le Pr Bandajevsky attribue à des phénomènes d'intoxication cellulaire comparables les pathologies inusitées dont on constate l'accroissement au Belarus depuis l'accident de Tchernobyl, et ce à partir de taux infimes de césium radioactif incorporé. Mais les fonds alloués aux études toxicologiques restent dérisoires face à ceux dont bénéficient les applications commercialisables des nanotechnologies.

• Un champ très hétérogène...

Depuis une dizaine d'années, des nanomatériaux ou technologies sont subrepticement intégrés dans nombre de produits (près de 1 000 à ce jour, dont quelque 300 nanoaliments) ; ils sont déjà massivement utilisés par l'industrie automobile. Microélectronique, cosmétiques, pharmacie, emballages et alimentation, textiles, énergie, "dépollution", aéronautique et espace... et bien sûr armée, police, télésurveillance : les usages potentiels semblent illimités.

• ... aux acteurs peu soucieux de transparence et de démocratie

Comment croire aux promesses d'un monde meilleur grâce aux nanos quand on retrouve parmi leurs principaux promoteurs le Commissariat à l'énergie atomique, les grands groupes de l'armement et du béton, ou encore les transnationales responsables de la dissémination d'OGM et de l'hyperconcentration de l'agroindustrie au détriment de la souveraineté alimentaire des peuples ?

LES NANOS N'ONT RIEN D'ECOLOGIQUE

• Naturelles, industrielles : les nanoparticules dans notre environnement

Les poussières volcaniques, la suie, contiennent des particules ultrafines d'origine naturelle, mais pas inoffensives pour autant. Depuis des siècles, des processus artisanaux créent des nanoparticules – toujours en petites quantités. Les moteurs diesel en diffusent énormément. En

ville, on estime à 10 à 20 millions par litre d'air le nombre de particules de taille inférieure à 100 nm, responsables de troubles respiratoires, immunitaires et cardiovasculaires provoquant des morts anticipées. Comme on ne sait pas bien les détecter ni les identifier, l'impunité est garantie pour leurs producteurs !

- **La petite taille ne doit pas faire illusion**

Présumées économes en matières premières, les nanotechnologies dépendent d'infrastructures très lourdes (salles blanches, appareillages sophistiqués...), grosses consommatrices de ressources (métaux rares, eau potable...), fortement automatisées et centralisées. Leur coût, élevé, grimperait en flèche avec l'amélioration des dispositifs de protection des salariés et des riverains. Quant à l'impact environnemental de leur cycle de vie, celui des nanofibres de carbone pourrait être cent fois plus important que celui de l'acier ou de l'aluminium. Le confinement et le recyclage de matériaux (souvent composites) ou objets à cette échelle posent en outre des problèmes insolubles dans un avenir prévisible.

S'y ajoute l'effet rebond sur les consommations du faible coût unitaire des produits (qui incite à jeter après quelques mois un téléphone portable) et la nécessité pour les industriels et investisseurs de rentabiliser les installations en les faisant tourner à fond. Enfin, même avec des "capteurs" nanométriques (minidrones, poussières "intelligentes"...), la visualisation, le transfert, le stockage des informations supposent une débauche d'équipements matériels et de consommations énergétiques. Sans compter l'ampleur et la nocivité du brouillard électromagnétique induit.

- **Menaces sur les écosystèmes**

Désinfectantes, les nanoparticules d'argent – intégrées dans des textiles, pansements, peintures et produits nettoyants – contaminent les eaux au fil des lavages, au risque de détruire les micro-organismes bénéfiques et de favoriser l'apparition de souches pathogènes résistantes. Côté atmosphère, le rôle du noir de carbone dans l'accroissement rapide de l'effet de serre est avéré. Potentiellement cancérigène, il est produit massivement pour incorporation dans des pneus et des encres. Le nanodioxyde de

titane des revêtements autonettoyants retiendrait le cadmium, toxique, et le concentrerait dans les écosystèmes. Ce ne sont que quelques exemples.

LA PLANETE MUEE EN LABORATOIRE : TOUS COBAYES D'UN NOUVEL EMBALLEMENT MILITARO-INDUSTRIEL

- **Le cheval de Troie de la nanomédecine : une rhétorique du miracle qui fait fi des réalités biologiques**

Sous prétexte de faire marcher les paralytiques et de rendre la vue aux aveugles, le projet Clinatéc à Grenoble prévoit, sous l'égide du Commissariat à l'énergie atomique, des expérimentations sur des cobayes humains dans une zone classée secret défense. L'idée, de prime abord séduisante, de diagnostics ultraprécoces qui détecteraient, voire traiteraient les cancers avant qu'ils touchent plus de quelques cellules, se fonde quant à elle sur une vision dangereusement simpliste de la biologie, oubliant par exemple que des microtumeurs sont constamment créées et résorbées dans notre organisme si le système immunitaire n'est pas débordé par trop d'agressions extérieures.

Tandis que des apprentis sorciers jouent au Lego nanoscopique avec de l'argent souvent public, qui manque par ailleurs pour régler d'urgents problèmes vitaux, il n'existe toujours pas d'équipements fiables pour protéger les travailleurs des nanoparticules, ni de méthode pour mesurer et caractériser l'exposition aux nanomatériaux.

- **Applications sécuritaires pernicieuses et brevetage des composants de la matière**

Les principaux budgets en nanotechnologies vont aux usages militaires et "sécuritaires". Le souci de traçabilité sert déjà d'alibi pour pucer bêtes, objets et parfois humains. La recherche sur l'infiniment petit dépend de l'accès à de ruineuses plates-formes techniques. De juteuses trouvailles pratiques et de douteuses collaborations doivent donc la financer. D'où la ruée sur les brevets et start-up, qui finiront par être rachetés par les plus grosses multinationales. La plupart des annonces

relèvent du marketing et n'ont aucune réalité économique et scientifique, mais les processus associés d'hyperconcentration planétaire du pouvoir politique et financier entre quelques mains sont hélas, eux, bien réels.

- **Vieux mensonges et relents de foi scientifique**

Sous ses airs d'ultramodernité, le discours sur les nanos est tristement familier aux écologistes. Ravages du plomb, de l'amiante ; décennies d'accumulation de DDT et autres polluants persistants ; disséminations massives de radioactivité sans que le mirage d'une énergie inépuisable, propre et gratuite se soit rapproché pour autant... Qui peut encore croire au salut de l'humanité par les technologies nano-bio-neuro-informatiques ? Comment contrôler ce qu'on sait à peine détecter et dont on ignore la majorité des propriétés ? Combien faudra-t-il encore sacrifier d'humains à cette croyance aveugle dans la capacité du progrès technique à résoudre les problèmes qu'il crée par ailleurs ?

- **Stratégie du fait accompli, démission des pouvoirs publics**

Or les mises sur le marché s'accélèrent. La réglementation européenne Reach ne s'applique pas en dessous d'une tonne de produit, et sa caractérisation des espèces chimiques ignore la taille des particules, mais les États laissent les industriels prétendre que Reach suffit à encadrer les nanos. Les consultations de pure forme se multiplient, mais les graves interrogations, alertes et demandes de moratoires lancées depuis plusieurs années par des acteurs aussi diversifiés que ETC Group, les Amis de la Terre de divers pays, la Confédération européenne des Syndicats, Pièces et Main-d'Œuvre ou la Fondation Sciences Citoyennes restent lettre morte. Prétendre "responsabiliser" le consommateur sans toucher aux choix en matière de recherche, de production industrielle et de mise sur le marché relève d'une hypocrisie odieuse. La complicité des pouvoirs publics, censés être au service de la collectivité, n'a que trop duré.

- **États et transnationales : la compétition entre superpuissances**

Un arrêt des recherches ou des dépôts de

brevets ne serait-il pas suicidaire pour la position économique, technologique et militaire de la France ? Eh bien non. Comme pour l'arme nucléaire, c'est la poursuite de l'escalade qui devient suicidaire pour les populations des pays impliqués. Pour accroître les dépenses d'armement, les lobbies militaro-industriels s'appuient sur la compétition belliqueuse entre nations, la peur savamment entretenue de l'autre et les "retombées" civiles supposées globalement bénéfiques. Mais la course à la technologie n'est pas au service des peuples. L'apparente rationalité de produire, au nom de la guerre économique, toujours plus d'instruments de destruction ou de substances nouvelles sans égard à leurs conséquences biologiques découle d'une vision biaisée, où la richesse de quelques-uns repose sur le mythe d'une croissance infinie et le report sur autrui du coût des dégâts "collatéraux".

- **Tout de même... n'est-il pas trop simpliste de mettre toutes les "nanos" dans le même panier ?**

L'idée même de *convergence* oblige à s'interroger sur la volonté totalitaire à l'œuvre derrière les très médiatiques projets nanos. Comme l'a formulé M. Kranzberg dès 1986, prétendre qu'une technique est neutre revient en réalité à penser qu'elle est globalement positive, et qu'il serait possible de choisir entre bons et mauvais effets. C'est aussi croire, à tort, qu'on pourrait connaître par avance ou évaluer une fois pour toutes les "bons" et les "mauvais" effets. C'est enfin négliger la puissance des déterminants économiques et sociaux du fonctionnement réel de la science et de la technique.

- **Ne faut-il pas dissocier recherche et applications ?**

L'histoire et la sociologie des sciences nous apprennent que les bricolages pratiques, voire industriels, précèdent la compréhension scientifique bien plus souvent que ne le suggère le mythe des "applications" d'une science "pure". Même une discipline en apparence aussi désincarnée que les mathématiques a très tôt noué des liens étroits avec l'armée, et fournit désormais des martingales sophistiquées aux spéculateurs financiers. Que dire de Fritz Haber, inventeur du Zyklon B, récompensé en 1918 par un prix Nobel alors qu'il avait lourdement

insisté pour que les militaires allemands utilisent ses gaz de combat pendant la guerre ? Et des savants allemands exfiltrés aux USA pour y travailler sur le programme atomique et spatial américain de la guerre froide, tandis que seuls quelques politiques et militaires étaient jugés à Nuremberg ? N'est-il pas temps que les chercheurs assument la responsabilité sociale de leurs actes et des outils qu'ils mettent à la disposition de leurs financeurs publics ou privés ?

DANS QUELLE SOCIÉTÉ VOULONS-NOUS VIVRE ?

Au cœur du débat sur les nanos, deux conceptions du sens de la vie et des priorités politiques s'affrontent. Pour certains, l'artificialisation galopante du monde et l'accumulation de toxiques sont inéluctables, et rendront bientôt l'essentiel de la planète inhabitable. Ceux-là ne conçoivent le salut que pour une infime minorité de nantis, bardés de prothèses et de protections "high tech". Pour d'autres, dont font partie les Amis de la Terre, la fuite en avant vers des pseudo-remèdes technologiques incompréhensibles au commun des mortels, dont la puissance ne laisse aucun droit à l'erreur et qui contraignent un nombre croissant d'humains à vivre et travailler sous masque ou scaphandre, est moralement indéfendable. Le "progrès" ne vaut que s'il peut être partagé solidairement par tous sans pénaliser les générations futures, et s'il confère à chacun plus de vraie liberté, de réelle autonomie et, osons le dire, de bonheur.

La crise écologique et sociale planétaire exige le financement immédiat de solutions déjà disponibles, accessibles au plus grand nombre, "conviviales" au sens qu'Illich donnait à ce mot. Il faut cesser d'attendre une miraculeuse révolution scientifique qui résoudrait tout à coups de baguette magique. D'ailleurs, loin d'être désirable, un monde où esclaves mécaniques et nanorobots feraient tout à notre place serait fondamentalement aliénant.

2. CE QUE VEULENT LES AMIS DE LA TERRE

Les Amis de la Terre jugent irresponsable le discours dominant des politiques, des chercheurs, des start-up et des multinationales

prétendant que les nanotechnologies sont inéluctables et qu'il faut être dans la course à tout prix. Les Amis de la Terre demandent donc dès maintenant :

- *La suspension de toute conception, fabrication, commercialisation de nanoproducts et substances nanométriques dont l'inocuité n'a pas été empiriquement démontrée par au moins quelques décennies d'usage à grande échelle.*
- *Un moratoire prolongé sur toute recherche en nanosciences et nanoingénierie, y compris militaire.*
- En matière de "nanos" comme dans les autres disciplines : un statut très protecteur pour les "lanceurs d'alerte", qui qu'ils soient, et la liberté de publication des résultats de recherches.
- La fin des brevets sur des composants de la matière inerte ou vivante ou sur des combinaisons des deux.
- *Un gros effort financier en toxicologie.* L'urgence est à un inventaire non biaisé des dégâts liés aux substances radioactives et chimiques qui contaminent déjà notre environnement, et non à l'ajout de nouvelles.
- Une réflexion collective de fond (notamment dans le cadre de "conférences de citoyens" élargies à des chercheurs de toutes disciplines plutôt que limitées à des "candidats") sur l'opportunité ou non : 1) d'efforts en métrologie et détection (ex. : pour les particules fines déjà présentes dans l'atmosphère et les nanoparticules dans l'eau ; 2) d'une amélioration des dispositifs de protection et de confinement (à quoi bon ? à quelles fins ?).
- *Un débat général sur des modalités d'encadrement démocratique de la recherche* et les moyens de responsabiliser les chercheurs quant aux conséquences potentiellement néfastes de leurs travaux.
- Des initiatives de l'Etat français en vue d'accords internationaux sur l'interdiction de l'usage militaire des NST et pour un moratoire mondial sur les autres utilisations de nanotechnologies.

3. CE QUE FONT LES AMIS DE LA TERRE POUR Y PARVENIR

- Ils s'informent régulièrement, mènent des campagnes de sensibilisation, diffusent les enquêtes ou études du réseau international des Amis de la Terre et alertent sur les constats établis.
- Ils dénoncent par tous les moyens à leur portée les incohérences des positions des pouvoirs publics et des entreprises (ex. : le Cahier d'acteur rédigé par les ATF pour la CNDP sur les nanotechnologies).
- Ils s'efforcent d'œuvrer conjointement – en synergie ou en complémentarité – avec d'autres groupes associatifs, syndicaux ou politiques, partageant tout ou partie de leurs préoccupations.
- Ils essaient, plus globalement, de proposer un cadre général visant à garantir ou restaurer un environnement salubre, agréable, pacifique et équitablement partagé entre tous les êtres humains.

7. SOURCES ET RÉFÉRENCES

¹ Center for Food Safety (2007). Principles for the Oversight of Nanotechnologies and Nanomaterials, <http://www.centerforfoodsafety.org/issues/682/nanotechnology/reports/961/principles-for-the-oversight-of-nanotechnologies-and-nanomaterials> (accessed 9 May 2014)

² Garnett M. and Kallinteri P. (2006). Nanomedicines and nanotoxicology: some physiological principles. *Occupational Medicines* 56:307-311.

³ Nature Nanotechnology (2010). Nanofood for Thought, <http://www.nature.com/nnano/journal/v5/n2/pdf/nnano.2010.22.pdf> (accessed 19 March 2014)

⁴ Garnett M. and Kallinteri P. (2006). Nanomedicines and nanotoxicology: some physiological principles. *Occupational Medicines* 56:307-311.

⁵ Hansen, T., Clermont, G., Alves, A., Eloy, R., Brochhausen, C., Boutrand, J., Gatti, A., Kirkpatrick, J. (2006). Biological tolerance of different materials in bulk and nanoparticulate form in a rat model: sarcoma development by nanoparticles. *Journal of the Royal Society Interface* 3:767–775

⁶ Des Rieux A., Fievez V., Garinot M., Schneider Y. and Preat V. (2006). Nanoparticles as potential oral delivery systems of proteins and vaccines: a mechanistic approach. *Journal of controlled release* 116:1-27

⁷ Sanguansri P. and Augustin M. (2006). Nanoscale materials development – a food industry perspective. *Trends in Food Science and Technology* 17:547-556.

⁸ Mozafari, M., Flanagan, J., Matia-Merino, L., Awati, A., Omri, A., Suntres, Z., Singh, H. (2006). Recent trends in the lipid-based nanoencapsulation of antioxidants and their role in foods. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86:2038-2045;

⁹ Wang, B., Feng, W., Wang, M., Wang, T., Gu, Y., Zhu, M., Ouyang, H., Shi, J., Zhang, F., Zhao, Y., Chai, Z., Wang, H.,

Wang, J. (2007). "Acute toxicological impact of nano- and submicro-scaled zinc oxide powder on healthy adult mice". *Journal of Nanoparticle Research* DOI 10.1007/ s11051-007-9245-3

¹⁰ Wang, B., Feng, W.-Y., Wang, T.-C., Jia, G., Wang, M., Shi, J.-W., Zhang, F., Zhao, Y.-L., Chai, Z.-F. (2006). "Acute toxicity of nano- and micro-scale zinc powder in healthy adult mice". *Toxicology Letters* 161:115–123

¹¹ Institute of Occupational Medicine for the Health and Safety Executive (2004). Nanoparticles: An occupational hygiene review. Available at <http://www.hse.gov.uk>

¹² Yamawaki, H., Iwai, N. (2006). Mechanisms Underlying Nano- Sized Air-Pollution- Mediated Progression of Atherosclerosis Carbon Black Causes Cytotoxic Injury/Inflammation and Inhibits Cell Growth in Vascular Endothelial Cells. *Circulation Journal* 70: 129 –140

¹³ Nel A, Xia T, Li N (2006). "Toxic potential of materials at the nanolevel". *Science* Vol 311:622-627

¹⁴ The Royal Society and Royal Academy of Engineering (2004) Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties. London: The Royal Society <http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm>

¹⁵ For examples of specific products, visit the Consumer Products Inventory hosted by the Woodrow Wilson Center for International Scholars' Project on Emerging nanotechnologies at: <http://nanotechproject.org>

¹⁶ P 5, Roco M (2001). "From vision to the implementation of the U.S. National Nanotechnology Initiative". *Journal of Nanoparticle Research* 3:5-11

¹⁷ P5-6, Roco M and Bainbridge W (Eds) (2002). Converging Technologies for Improving Human Performance: nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science. NSF/DOC-sponsored report. Available at: <http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies/>

¹⁸ Nanowerk News (2014). Antimicrobial edible films inhibit pathogens in meat, <http://www.nanowerk.com/>

- nanotechnology_news/newsid=35425.php (accessed 8 May 2014)
- ¹⁹ Schneider, A. (2010) Regulated or Not, Nano-Foods Coming to a Store Near You, <http://www.aolnews.com/2010/03/24/regulated-or-not-nano-foods-coming-to-a-store-near-you> (accessed 19 February 2014)
- ²⁰ Chen, L., Remondetto, G., Subirade, M. (2006). Food protein- based materials as nutraceutical delivery systems. *Trends in Food Science & Technology* 17:272–283
- ²¹ The Environmental Magazine (2012). Eating Nano, <http://www.emagazine.com/includes/print-article/magazine/9623/> (accessed 4 March 2014)
- ²² Gerloff K, Albrecht C, Boots AW, Förster I, Schins RPF: Cytotoxicity and oxidative DNA damage by nanoparticles in human intestinal Caco-2 cells. *Nanotoxicology* 3 (4): 355-364, 2009.
- ²³ Dekker, K. et al., Knowledge gaps in risk assessment of nanosilica in food: evaluation of the dissolution and toxicity of different forms of silica. *Nanotoxicology*, June 2013; 7(4):367– 377, 368
- ²⁴ SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) (2011). Vorsorgestrategien für Nanomaterialien, http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02_Sondergutachten/2011_09_SG_Vorsorgestrategien%20f%C3%BCr%20Nanomaterialien.pdf?__blob=publicationFile (accessed 9 May 2014)
- ²⁵ Correia Carreira, S. (2013) The toxicity, transport and uptake of nanoparticles in the in vitro BeWo b30 placental cell barrier model used within NanoTEST, *Nanotoxicology*, 1-14, <http://informahealthcare.com/doi/pdf/10.3109/17435390.2013.833317>
- ²⁶ Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. Preliminary Opinion, Nanosilver: safety, health and environmental effects and role in antimicrobial resistance, December 2013, p 21. Online at: http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_039.pdf (accessed 13 March 2014)
- ²⁷ NRDC vs. U.S. EPA and Heiq Materials AG (2013) <http://cdn.ca9.uscourts.gov/datastore/opinions/2013/11/07/12-70268.pdf> (accessed 14 April 2014)
- ²⁸ Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. Preliminary Opinion, Nanosilver: safety, health and environmental effects and role in antimicrobial resistance, December 2013, p 21-22, 24. Online at: http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_039.pdf (accessed 13 March 2014)
- ²⁹ BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung) (2010). BfR rät von Nanosilber in Lebensmitteln und Produkten des täglichen Bedarfs ab, http://www.bfr.bund.de/cm/343/bfr_raet_von_nanosilber_in_lebensmitteln_und_produkten_des_tae_gliche_n_bedarfs_ab.pdf (accessed 14 March 2014)
- ³⁰ Correia Carreira, S. (2013) The toxicity, transport and uptake of nanoparticles in the in vitro BeWo b30 placental cell barrier model used within NanoTEST, *Nanotoxicology*, 1-14, <http://informahealthcare.com/doi/pdf/10.3109/17435390.2013.833317>
- ³¹ Browning, L.M. (2013) Silver Nanoparticles Incite Size- and Dose-Dependent Developmental Phenotypes and Nanotoxicity in Zebrafish Embryos, *Chem. Res. Toxicol.* 26(10):1503–1513.
- ³² Friends of the Earth U.S. (2011) Nano-silver: policy failure puts public health at risk, http://nano.foe.org.au/sites/default/files/Nano-silver_2011%20Aus%20v2%20web.pdf (accessed 28 March 2014)
- ³³ ECHA, Justification document for the selection of a CoRAP substance – Titanium Dioxide, 2013
- ³⁴ ChemEurope.com (2009). Nanoparticles used in common household items caused genetic damage in mice, <http://www.chemeurope.com/en/news/109581/nanoparticles-used-in-common-household-items-caused-genetic-damage-in-mice.html> (accessed 27 July 2012)
- ³⁵ Ashwood P, et al. 2007. Fine particles that adsorb lipopolysaccharide via bridging calcium cations may mimic bacterial pathogenicity towards cells. *Exp Biol Med* 232(1):107-117
- ³⁶ Donaldson K, et al. 1996. Free radical activity associated with the surface of particles: a unifying factor in determining biological activity? *Toxicol Lett* 88:293-298
- ³⁷ Dunford R, Salinaro A, Cai L, Serpone N, Horikoshi S, Hidaka H, Knowland J. 1997. Chemical oxidation and DNA damage catalysed by inorganic sunscreen ingredients. *FEBS Lett* 418:87-90
- ³⁸ Long T, Saleh N, Tilton R, Lowry G, Veronesi B. 2006. Titanium dioxide (P25) produces reactive oxygen species in immortalized brain microglia (BV2): Implications for nanoparticle neurotoxicity. *Environ Sci Technol* 40(14):4346-4352
- ³⁹ Lucarelli M, Gatti A, Savarino G, Quattroni P, Martinelli L, Monari E, Boraschi D 2004. Innate defence functions of macrophages can be biased by nano-sized ceramic and metallic particles. *Eur Cytok Net* 15(4):339-346
- ⁴⁰ Wang J, Zhou G, Chen C, Yu H, Wang T, Ma Y, Jia G, Gai Y, Li B, Sun J, Li Y, Jiao F, Zhano Y, Chai Z. 2007b. Acute toxicity and biodistribution of different sized titanium dioxide particles in mice after oral administration. *Toxicol Lett* 168(2):176-185
- ⁴¹ Wang J, Zhou G, Chen C, Yu H, Wang T, Ma Y, Jia G, Gai Y, Li B, Sun J, Li Y, Jiao F, Zhano Y, Chai Z. 2007b. Acute toxicity and biodistribution of different sized titanium dioxide particles in mice after oral administration. *Toxicol Lett* 168(2):176-185
- ⁴² BfR / UBA (Bundesinstitut für Risikobewertung und Umweltbundesamt) (2010). Beurteilung eines möglichen Krebsrisikos von Nanomaterialien und von aus Produkten freigesetzten Nanopartikeln, http://www.bfr.bund.de/cm/343/beurteilung_eines_moeglichen_krebsrisikos_von_nanomaterialien_und_von_aus_produkten_freigesetzten_nanopartikeln.pdf (accessed 3 July 2012)
- ⁴³ LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg) (2010). Nanomaterialien: Toxikologie/Ökotoxikologie, <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/62024/U10-S05-N10.pdf?command=downloadContent&filename=U10-S05-N10.pdf> (accessed 25 July 2012)

- 44 Takeda, K. et al. (2009). Nanoparticles Transferred from Pregnant Mice to Their Offspring Can Damage the Genital and Cranial Nerve Systems, *Journal of Health Science* 55(1):95– 102, http://jhs.pharm.or.jp/data/55%281%29/55_95.pdf
- 45 Weir, A. et al. (2012). Titanium dioxide nanoparticles in food and personal care products, *Environmental Science and Technology* 46:2242-2250.
- 46 Scientific Committee on Consumer Safety (2012). Opinion on zinc oxide (nano form), COLIPA S 76, pp. 30, 93, http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/consumer_safety/docs/scsccs_o_103.pdf
- 47 Ibid p. 96.
- 48 Ibid
- 49 aid Informationsdienst (2011). Nanotechnologien bei Lebensmitteln, http://www.aid.de/shop/pdf/0085_2011_nanoflyer_x000.pdf (accessed July 30.2012) Allied Biotech Europe GmbH (2012), <http://www.altratene.com/dietary.php> (accessed 22 July 2012)
- 50 BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung) (2012). Nanosilver: Progress in analysis, gaps in toxicology and exposure, http://www.bfr.bund.de/de/presseinformation/2012/08/nanosilber_—fortschritte_in_der_analytik_luecken_bei_toxikologie_und_exposition-128936.html (accessed 1 August 2012)
- 51 Plastemart.com: Nanotechnology can enhance food packaging, <http://www.plastemart.com/upload/literature/Nanotechnology-enhance-improve-food%20packaging.asp> (accessed 13 March 2014)
- 52 Safe Work Australia, Human Health Hazard Assessment and Classification of Carbon Nanotubes. Online at <http://www.safeworkaustralia.gov.au/sites/swa/about/publications/pages/human-health-hazard-assessment-and-classification-of-carbon-nanotubes>. (accessed 13 March 2014)
- 53 Miller and Senjen, Out of the Laboratory and onto our Plates: nanotechnology in food and agriculture, *Friends of the Earth United States*, 2008
- 54 Woodrow Wilson International Centre for Scholars. A Hard Pill to Swallow: Barriers to Effective FDA Regulation of Nanotechnology-based Dietary Supplements. 2009. Online at http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/7056/pen17_final.pdf (accessed 13 March 2014)
- 55 Franz R. 2005. Migration modelling from food-contact plastics into foodstuffs as a new tool for consumer exposure estimation. *Food Additives and Contaminants* 22(10): 920–937
- 56 Das R, Selke S, Harte J. 2007. Development of electronic nose method for evaluation of HDPE flavour characteristics correlated with organoleptic testing. *Packaging Technology and Science* 20:125-136
- 57 IFST 2006. Information Statement: Nanotechnology. Institute of Food Science & Technology Trust Fund, London. Available at: <http://www.ifst.org/uploadedfiles/cms/store/ATTACHMENTS/Nanotechnology.pdf> (accessed 15 January 2008)
- 58 Ashwood P, Thompson R, Powell J. 2007. Fine particles that adsorb lipopolysaccharide via bridging calcium cations may mimic bacterial pathogenicity towards cells. *Exp Biol Med* 232(1):107-117 and Gatti A. 2004. Biocompatibility of micro- and nano-particles in the colon. Part II. *Biomaterials* 25:385- 392 and Schneider J. 2007. Can microparticles contribute to inflammatory bowel disease: Innocuous or inflammatory? *Exp Biol Med* 232:1-2
- 59 Chen Z, Meng H, Xing G, Chen C, Zhao Y, Jia G, Wang T, Yuan H, Ye C, Zhao F, Chai Z, Zhu C, Fang X, Ma B, Wan L. (2006b) Acute toxicological effects of copper nanoparticles in vivo. *Toxicol Lett* 163:109-120
- 60 Desai M, Labhasetwar V, Amidon G, Levy R. (1996) Gastrointestinal uptake of microparticles: Effect of particle size. *Pharm Res* 13(12):1838-1845
- 61 Hillyer J, Albrecht R. (2001) Gastrointestinal persorption and tissue distribution of differently sized colloidal gold nanoparticles. *J Pharm Sci* 90(12):1927-1936
- 62 Wang B, et al. (2007a) Acute toxicological impact of nano- and submicro-scaled zinc oxide powder on healthy adult mice. *J Nanopart Res* 10(2):263-276
- 63 Wang J, et al. (2007b) Acute toxicity and biodistribution of different sized titanium dioxide particles in mice after oral administration. *Toxicol Lett* 168(2):176-185
- 64 Hazzard R, Hodges G, Scott J, McGuinness C, Carr E. (1996) Early intestinal microparticle uptake in the rat. *J Anat* 189:265-271
- 65 McMinn L, Hodges G, Carr K. (1996) Gastrointestinal uptake and translocation of microparticles in the streptozotocin- diabetic rat. *J Anatom* 189:553-559
- 66 Wang B, Feng W-Y, Wang T-C, Jia G, Wang M, Shi J-W, Zhang F, Zhao Y-L, Chai Z-F. (2006) Acute toxicity of nano- and micro-scale zinc powder in healthy adult mice. *Toxicol Lett* 161:115–123
- 67 Ballestri M, Baraldi A, Gatti A, Furci L, Bagni A, Loria P, Rapana R, Carulli N, Albertazzi A. (2001) Liver and kidney foreign bodies granulomatosis in a patient with malocclusion, bruxism, and worn dental prostheses. *Gastroenterol* 121(5):1234–8
- 68 Gatti A, Rivasi F. (2002) Biocompatibility of micro- and nanoparticles. Part I: in liver and kidney. *Biomaterials* 23:2381–2387
- 69 LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg) (2010). Nanomaterialien: Toxikologie/Ökotoxikologie, <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/62024/U10-S05-N10.pdf?command=downloadContent&filename=U10-S05-N10.pdf> (accessed 25 July 2012)
- 70 SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) (2011). Vorsorgestrategien für Nanomaterialien, http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02_Sondergutachten/2011_09_SG_Vorsorgestrategien%20f%C3%BCr%20Nanomaterialien.pdf?__blob=publicationFile (accessed 9 July 2012)
- 71 Spiegel online (2012). Nanopartikel verändern Eisenaufnahme im Darm, <http://www.spiegel.de/wissenschaft/medizin/diskussion-um-gefahren-nanopartikel-veraendern-eisenaufnahme-im-darm-a-814794.html> (accessed 15 July 2012).
- 72 Powell JJ, Faria N, Thomas-McKay E, Pele LC. (2010) Origin and fate of dietary nanoparticles and microparticles in the gastrointestinal tract. *J Autoimmun* 34:J226–J233; Powell JJ, Ainley CC, Harvey RSJ, Mason IM, Kendall MD, Sankey EA, et al. (1996) Characterisation of inorganic

microparticles in pigment cells of human gut associated lymphoid tissue. *Gut* 38:390–95.

⁷³ Ashwood P, Thompson R, Powell J. (2007) Fine particles that adsorb lipopolysaccharide via bridging calcium cations may mimic bacterial pathogenicity towards cells. *Exp Biol Med* 232(1):107–117

⁷⁴ Gatti A, Tossini D, Gambarelli A. (2004) Investigation Of Trace Elements In Bread Through Environmental Scanning Electron Microscope And Energy Dispersive System. 2nd International IUPAC Symposium, Brussels, October 2004

⁷⁵ Lomer M, Harvey R, Evans S, Thompson R, Powell P. (2001) Efficacy and tolerability of a low microparticle diet in a double blind, randomized, pilot study in Crohn's disease. *Eur J Gastroenterol Hepatol* 13:101–106.

⁷⁶ Lucarelli M, Gatti A, Savarino G, Quattroni P, Martinelli L, Monari E, Boraschi D. (2004) Innate defence functions of macrophages can be biased by nano-sized ceramic and metallic particles. *Eur Cytok Net* 15(4):339–346

⁷⁷ SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) (2011). Vorsorgestrategien für Nanomaterialien, http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02_Sondergutachten/2011_09_SG_Vorsorgestrategien%20f%C3%BCr%20Nanomaterialien.pdf?__blob=publicationFile (accessed 9 July 2012)

⁷⁸ EFSA (2009) The Potential Risks Arising from Nanoscience and Nanotechnologies on Food and Feed Safety, <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/958.pdf> (accessed 10 March 2014)

⁷⁹ Scientific Committee on Consumer Safety (2012) Opinion on zinc oxide (nano form), COLIPA S 76, p. 96, http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/consumer_safety/docs/sccs_o_103.pdf; Scientific Committee on Consumer Safety (2013) Opinion on titanium dioxide (nano form), http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/consumer_safety/docs/sccs_o_136.pdf (both accessed 13 March 2014)

⁸⁰ Oberdörster G, Maynard A, Donaldson K, Castranova V, Fitzpatrick J, Ausman K, Carter J, Karn B, Kreyling W, Lai D, Olin S, Monteiro-Riviere N, Warheit D, Yang H. (2005) Principles for characterising the potential human health effects from exposure to nanomaterials: elements of a screening strategy. *Particle Fibre Toxicol* 2:8

⁸¹ Safe Work Australia, Human Health Hazard Assessment and Classification of Carbon Nanotubes, <http://www.safeworkaustralia.gov.au/sites/swa/about/publications/pages/human-health-hazard-assessment-and-classification-of-carbon-nanotubes>. (accessed 13 March 2014)

⁸² The Environmental Magazine (2012). Eating Nano, <http://www.emagazine.com/includes/print-article/magazine/9623/> (accessed 4 March 2014)

⁸³ Helmut Keiser (2003). Nanotechnology in Food and Food Processing Worldwide, <http://www.hkc22.com/nanofood.html> (accessed 14 March 2014)

⁸⁴ Ibid

⁸⁵ Innovest (2006). Nanotechnology: Non-traditional Methods for Valuation of Nanotechnology Producers. Innovest, Strategic Value Advisers

⁸⁶ Wolfe J. (2005). Safer and guilt-free nano foods. *Forbes.com* U.S. 10.08.05. <http://www.forbes.com/>

investmentnewsletters/2005/08/09/nanotechnology-kraft-hershey-cz_jw_0810soapbox_inl.html (accessed 12 March 2014)

⁸⁷ Renton A. (2006). Welcome to the world of nano foods. *Guardian Unlimited UK* 13.12.06. Available at http://observer.guardian.co.uk/foodmonthly/futureoffood/story/0,,1971266,00.html#article_continue

⁸⁸ Consumer Products Inventory hosted by the Woodrow Wilson Center for International Scholars' Project on Emerging nanotechnologies (2014).

<http://www.nanotechproject.org/cpi/> (accessed 19 February 2014); Weir A., Westerhoff P., Fabricius L., von Goetz N. (2013) Titanium Dioxide Nanoparticles in Food and Personal Care Products. *Environ. Sci. Tech.* Feb. 8 2013

⁸⁹ U.S. Food and Drug Administration: <http://www.fda.gov/ScienceResearch/SpecialTopics/Nanotechnology/default.htm> (Accessed 18 February 2014)

⁹⁰ U.S. Food and Drug Administration: <http://www.fda.gov/ScienceResearch/SpecialTopics/Nanotechnology/default.htm> (Accessed 18 February 2014)

⁹¹ Progressive Grocer (2013). Geisslers Adopts OnVu Meat Labeling, <http://www.progressivegrocer.com/top-stories/headlines/meat-seafood/id34759/geisslers-adopts-onvu-meat-labeling/> (accessed 13 March 2014)

⁹² Progressive Grocer (2013). Geisslers Adopts OnVu Meat Labeling, <http://www.progressivegrocer.com/top-stories/headlines/meat-seafood/id34759/geisslers-adopts-onvu-meat-labeling/> (accessed 13 March 2014) OnVu (2007). OnVu the label that makes freshness visible, <http://www.youtube.com/watch?v=cvpcgNqUlmw> (accessed 8 March 2014)

⁹³ Franz R. (2005), Migration modelling from food-contact plastics into foodstuffs as a new tool for consumer exposure estimation. *Food Additives and Contaminants* 22(10): 920–937.

⁹⁴ Das R., Selke S., Harte J. (2007). Development of electronic nose method for evaluation of HDPE flavour characteristics correlated with organoleptic testing. *Packaging Technology and Science* 20:125–136.

⁹⁵ ToddlerHealth (2013). <http://www.toddlerhealth.net/> (accessed 20 February 2014)

⁹⁶ Solace Nutrition (2014). NanoVM General Info, <http://www.solacenutrition.com/products/nanovm/nanovm.html> (accessed 20 February 2014)

⁹⁷ Consumer Products Inventory hosted by the Woodrow Wilson Center for International Scholars' Project on Emerging nanotechnologies (2014). <http://www.nanotechproject.org/cpi/> (accessed 19 February 2014)

⁹⁸ Weir A., Westerhoff P., Fabricius L., von Goetz N. (2013) Titanium Dioxide Nanoparticles in Food and Personal Care Products. *Environ. Sci. Tech.* Feb. 8 2013

⁹⁹ Soutter, W. (2012) Nanotechnology in Functional Foods, <http://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=3065#Introduction>

¹⁰⁰ FoodSafety magazine 2012. Potential Use of Edible nanoscale Coatings for Meat. Online at: <http://www.foodsafetymag-digital>.

- com/foodsafetymag/20120607?pg=4#pg54 (accessed 10 March 2014)
- Fraunhofer (2010). Nano-Anwendungen in der Lebensmittelverpackung, http://www.nanowissen.bayern.de/docs/franz_fraunhoferivv.pdf und <http://www.ube.de/index.html> (accessed 8 August 2012)
- 101 Schneider, A. (2010) Regulated or Not, Nano-Foods Coming to a Store Near You, <http://www.aolnews.com/2010/03/24/regulated-or-not-nano-foods-coming-to-a-store-near-you> (accessed 19 February 2014)
- 102 Schneider, A. (2010) Regulated or Not, Nano-Foods Coming to a Store Near You, <http://www.aolnews.com/2010/03/24/regulated-or-not-nano-foods-coming-to-a-store-near-you> (accessed 19 February 2014)
- 103 Tran C., Donaldson K., Stones V., Fernandez T., Ford A., Christofi N., Ayres J., Steiner M., Hurley J., Aitken R., Seaton A. (2005). A scoping study to identify hazard data needs for addressing the risks presented by nanoparticles and nanotubes. Research Report. Institute of Occupational Medicine, Edinburgh
- 104 Luo, J. (2007). "Toxicity and bioaccumulation of nanomaterial in aquatic species". Journal of the United States Stockholm Junior Water Prize. doi: 10.2175/SJWP(2007)1:01
- 105 Moore M. (2006). Do nanoparticles present ecotoxicological risks for the health of the aquatic environment. *Environment International* 32: 967-976. p968
- 106 Senjen R. (2007). Nanosilver – a threat to soil, water and human health? Friends of the Earth Australia March 2007. Available at: <http://nano.foe.org.au/node/189>
- 107 Fortner J, Lyon D, Sayes C, Boyd A, Falkner J, Hotze E, Alemany L, Tao Y, Guo W, Ausman K, Colvin V, Hughes J (2005). C60 in Water: Nanocrystal Formation and Microbial Response. *Environmental Science and Toxicology* 39(11), 4307-4316
- 108 Zhang, L., Jiang, Y., Ding, Y., Povey, M., York, D. (2007). "Investigation into the antibacterial behaviour of suspensions of ZnO nanoparticles (ZnO nanofluids)". *Journal of Nanoparticle Research* 9:479–489
- 109 Kang, S., Pinault, M., Pfefferle, L., Elimelech, M. (2007). "Single-Walled Carbon Nanotubes Exhibit Strong Antimicrobial Activity". *Langmuir* 23: 8670-8673
- 110 Throback I.N., Johansson M., Rosenquist M., Pell M., Hansson M., Hallin S. (2007). Silver (Ag(+)) reduces denitrification and induces enrichment of novel nirK genotypes in soil. *FEMS Microbiol Lett.* 2007 Jan 23
- 111 Oberdörster G., Oberdörster E. and Oberdörster J. (2005). Nanotoxicology: an emerging discipline from studies of ultrafine particles. *Environmental Health Perspectives* 113(7):823-839.
- 112 Nanologue.net (2005) Appendix to the Nanologue Background Paper on selected nanotechnology applications and their ethical, legal and social implications. Available at: <http://www.nanologue.net/custom/user/Downloads/NanologueBackgroundPaperAppendix.pdf>,
- 113 Melhus, A (2007). Silver threatens the use of antibiotics. Unpublished manuscript, received by email 30/1/07
- 114 Lovern, B., Klaper, R. (2006). Daphnia magna mortality when exposed to titanium dioxide and fullerene (c60) nanoparticles. *Environmental Toxicology and Chemistry* 25(4):1132-1137
- 115 Hund-Rinke K and Simon M (2006). Ecotoxic effect of photocatalytic active nanoparticles (TiO₂) on algae and daphnids. *Environmental Science and Pollution Research* 13(4):225-232
- 116 Luo, J. (2007). Toxicity and bioaccumulation of nanomaterial in aquatic species. Journal of the United States Stockholm Junior Water Prize. doi: 10.2175/SJWP(2007)1:01
- 117 Oberdörster E (2004). Manufactured nanomaterials (fullerenes, C60) induce oxidative stress in the brain of juvenile largemouth bass. *Environmental Health Perspectives* 112:1058-1062
- 118 Zhu, S., Oberdorster, E., Haasch, M. (2006). Toxicity of an engineered nanoparticle (fullerene, C60) in two aquatic species, Daphnia and fathead minnow. *Marine Environmental Research* 62:S5–S9.
- 119 Templeton, P., Ferguson, P., Washburn, K., Scrivens, W., Chandler, G. (2006). Life-Cycle Effects of Single-Walled Carbon Nanotubes (SWNTs) on an Estuarine Meiobenthic Copepod. *Environmental Science and Technology* 40:7387-7393
- 120 Cheng, J., Flahaut, E., Cheng, S. (2007). Effect of carbon nanotubes on developing zebrafish (Danio rerio) embryos. *Environmental Toxicology and Chemistry* 26(4):708-716
- 121 Lovern, B., Klaper, R. (2006). Daphnia magna mortality when exposed to titanium dioxide and fullerene (c60) nanoparticles. *Environmental Toxicology and Chemistry* 25(4):1132-1137
- 122 Oberdorster E (2004b) Toxicity of nC60 fullerenes to two aquatic species: Daphnia and largemouth bass [Abstract]. In: 227th American Chemical Society National Meeting, Anaheim, CA, March 28-April 1, 2004. Washington DC: American Chemical Society I&EC 21. Available at: <http://oasys2.confex.com/acs/227nm/techprogram/P719002.HTM>
- 123 Lovern, S., Strickler, J., Klaper, R. (2007). Behavioural and physiological changes in Daphnia magna when exposed to nanoparticle suspensions (Titanium dioxide, Nano C-60 and C60HxC70Hx). *Environmental Science and Technology* 41:4465-4470
- 124 Fortner J, Lyon D, Sayes C, Boyd A, Falkner J, Hotze E, Alemany L, Tao Y, Guo W, Ausman K, Colvin V, Hughes J (2005). C60 in Water: Nanocrystal Formation and Microbial Response. *Environmental Science and Toxicology* 39(11); 4307-4316
- 125 Yang L., Watts D.J.(2005). Particle surface characteristics may play an important role in phytotoxicity of alumina nanoparticles *Toxicol Lett.* Volume 158(2):122-32.
- 126 RS/RAE (Royal Society / Royal Academy of Engineering) (2004) Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties. Online at: <http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm>, Section 5.7: paragraph 63 (accessed 5 July 2012)
- 127 EU Commission (2012) (2). Chemicals Thematic studies for Review of REACH 2012. Review of EU legislation (REACH) concerning nanotechnology. Online at: http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/documents/reach/review2012/nanotechnology_en.htm (accessed 21 November 2012)

- 128 Sweet et al. 2011 in Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. Preliminary Opinion, Nanosilver: safety, health and environmental effects and role in antimicrobial resistance, December 2013, p 16. Online at: http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_o_039.pdf (accessed 13 March 2014)
- 129 Bondarenko O, Juganson K, Ivask A, Kasemets K, Mortimer M, Kahru A. Toxicity of Ag, CuO and ZnO nanoparticles to selected environmentally relevant test organisms and mammalian cells in vitro: a critical review. *Archives of Toxicology*. 2013;87(7):1181-200.
- 130 Federici G, Shaw B, Handy R. 2007. Toxicity of titanium dioxide nanoparticles to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Gill injury, oxidative stress, and other physiological effects. *Aquatic Toxicol* 84(4):415-430
- 131 Hund-Rinke K, Simon M. 2006. Ecotoxic effect of photocatalytic active nanoparticles (TiO₂) on algae and daphnids. *Environ Sci Poll Res* 13(4):225-232
- 132 Lovren B, Klaper R. 2006. *Daphnia magna* mortality when exposed to titanium dioxide and fullerene (C₆₀) nanoparticles. *Environ Toxicol Chem* 25(4):1132-1137
- 133 <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11051-013-1692-4#page-1>
- 134 Ruitenberg, R. (2013) Earthworm Health Hurt by Nanoparticles in Soil in Alterra Study, Bloomberg. Online at: www.bloomberg.com/news/2013-01-29/earthworm-health-hurt-by-nanoparticles-in-soil-in-alterra-study.html
- 135 Unrine, J.M. et al. (2013) Trophic transfer of Au nanoparticles from soil along a simulated terrestrial food chain, *Environ Sci Technol.*, 46(17):9753-9760
- 136 Priester, J.H. (2012) Soybean susceptibility to manufactured nanomaterials with evidence for food quality and soil fertility interruption, *PNAS*, 109(37): 14734–14735
- 137 Unrine, J.M. et al. (2013) Trophic transfer of Au nanoparticles from soil along a simulated terrestrial food chain, *Environ Sci Technol.*, 46(17):9753-9760
- 138 Ruitenberg, R. (2013) Earthworm Health Hurt by Nanoparticles in Soil in Alterra Study, Bloomberg, www.bloomberg.com/news/2013-01-29/earthworm-health-hurt-by-nanoparticles-in-soil-in-alterra-study.html
- 139 Colman, B.P. et al. (2013). Low Concentrations of Silver Nanoparticles in Biosolids Cause Adverse Ecosystem Responses under Realistic Field Scenario, *PLOS ONE*, 8(2):1-10
- 140 Melhus A. 2007. Silver threatens the use of antibiotics. Unpublished manuscript, received by email 30 January 2007
- 141 Colman, B.P. et al. (2013); Priester, J.H. (2012); Hernandez- Viezcas, J.A. (2013) In Situ Synchrotron X-ray Fluorescence Mapping and Speciation of CeO₂ and ZnO Nanoparticles in Soil Cultivated Soybean (*Glycine max*), *ACS Nano*, 7 (2):1415–1423
- 142 Hanson, S.F. et al. (2013) Nanotechnology – early lessons from early warnings, from Late lessons from early warnings: science, precaution, innovation, EEA Report No 1/2013, Ch 22, p 542
- 143 Kah, M., Nanopesticides: State of Knowledge, Environmental Fate, and Exposure Modeling. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. Volume 43, Issue 16, 2013
- 144 Miller, G. & Senjen, R. (2008) Out of the Laboratory and onto 156. our Plates: nanotechnology in food and agriculture, Friends of the Earth United States.
- 145 ETC Group. 2004. Down on the Farm. Available at: <http://www.etcgroup.org> (accessed 17 January 2008)
- 146 Scrinis G and Lyons K. 2007. The emerging nano-corporate paradigm: Nanotechnology and the transformation of nature, food and agri-food systems. *Internat J Sociol Agric and Food*. 15(2). Available at: <http://www.csafe.org.nz/> (accessed 2 March 2008)
- 147 Relyea, R., Hoverman, J. (2006). "Assessing the ecology in ecotoxicology: a review and synthesis in freshwater systems". *Ecology Letters* 9: 1157–1171
- 148 Hanazato, T. (2001). "Pesticide effects on freshwater zooplankton: An ecological perspective". *Environmental Pollution* 112:1-10
- 149 Davidson, C., Knapp, A. (2007). "Multiple stressors and amphibian declines: Dual impacts of pesticides and fish on yellow-legged frogs". *Ecological Applications* 17 (2): 587-597
- 150 Beane Freeman, L., Bonner, M., Blair, A., Hoppin, J., Sandler, D., Lubin, J., Dosemeci, M., Lynch, C., Knott, C., Alavanja, M. (2005). "Cancer Incidence among Male Pesticide Applicators in the Agricultural Health Study Cohort Exposed to Diazinon". *American Journal of Epidemiology* 162(11): 1070-1079
- 151 van Balen, E., Font, R., Cavallé, N., Font, L., Garcia-Villanueva, M., Benavente, Y., Brennan, P., de Sanjose, S. (2006). "Exposure to non-arsenic pesticides is associated with lymphoma among farmers in Spain". *Occupational and Environmental Medicine*;63:663-668
- 152 Petrelli, G. , Figà-Talamanca, I., Tropeano, R., Tangucci, M., Cini, C., Aquilani, S., Gasperini, L., Meli, P. (2000). Reproductive male-mediated risk: Spontaneous abortion among wives of pesticide applicators. *European Journal of Epidemiology* 16: 391-393,
- 153 United States Environmental Protection Agency (2007). "U.S. Environmental Protection Agency Nanotechnology White Paper". Science Policy Council, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C
- 154 Mach R (2004). "Nanoscale Particle Treatment of Groundwater. Federal Remedial Technology Roundtable: Naval Facilities Engineering Command". Available http://www.frtr.gov/pdf/meetings/1--mach_09jun04.pdf
- 155 Oberdörster G, Oberdörster E and Oberdörster J (2005). "Nanotoxicology: an emerging discipline from studies of ultrafine particles". *Environmental Health Perspectives* 113(7):823-839
- 156 See discussions in: United States Environmental Protection Agency (2007). "U.S. Environmental Protection Agency Nanotechnology White Paper". Science Policy Council, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.; Oberdörster G, Oberdörster E and Oberdörster J (2005). "Nanotoxicology: an emerging discipline from studies of ultrafine particles"; *Environmental Health Perspectives* 113(7):823-839 and Tran C, Donaldson K, Stones V, Fernandez T, Ford A, Christofi N, Ayres J, Steiner M, Hurley J, Aitken R, Seaton A (2005). A scoping study to identify hazard data needs for addressing the risks presented by nanoparticles and nanotubes. Research Report. Institute of Occupational Medicine, Edinburgh

- 157 Recommendation 5(ii), The Royal Society and The Royal Academy of Engineering, UK (2004). Nanoscience and nanotechnologies. Available at <http://www.royalsoc.ac.uk/>
- 158 Ervin, D., Welsh, R. (2003). "Environmental effects of genetically modified crops: differentiated risk assessment and management". Chapter 2a in J. Wesseler (Ed) "Environmental costs and benefits of transgenic crops in Europe: Implications for research, production, and consumption. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands
- 159 Friends of the Earth International (2007). Who benefits from GM crops? An analysis of the global performance of GM crops (1996-2006). Executive summary January 2007. FoEI, Amsterdam. Available at: <http://www.foei.org>
- 160 Batie, S. (2003). "The environmental impacts of genetically modified plants: Challenges to decision making". American Journal of Agricultural Economics 85(5):1107-1111
- 161 Ervin, D., Welsh, R. (2003). "Environmental effects of genetically modified crops: differentiated risk assessment and management". Chapter 2a in J. Wesseler (Ed) "Environmental costs and benefits of transgenic crops in Europe: Implications for research, production, and consumption. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands
- 162 ETC Group (2007). "Extreme genetic engineering: An introduction to synthetic biology". Available at: <http://www.etcgroup.org/upload/publication/602/01/synbioreportweb.pdf>
- 163 Friends of the Earth International (2007). Who benefits from GM crops? An analysis of the global performance of GM crops (1996-2006). Executive summary January 2007. FoEI, Amsterdam. Available at: <http://www.foei.org>
- 164 Tucker, J., Zilinskas, R. (2006). "The promise and the peril of synthetic biology". The New Atlantis 12: 25-45
- 165 United Nations Conference on Trade and Development (2013). Wake up before it is too late: Make agriculture truly sustainable now for food security in a changing climate, http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/ditcted2012d3_en.pdf (accessed 24 February 2014)
- 166 Ibid
- 167 Institute for Agriculture and Trade Policy (2013). Nanomaterials in Soil: Our Future Food Chain?, http://www.iatp.org/files/2013_04_23_Nanotech_SS.pdf (accessed 9 May 2014)
- 168 Murray, D. (2005). "Oil and food: A new security challenge". Asia Times Online June 3 2005. Available at: http://www.atimes.com/atimes/Global_Economy/GF03Dj01.html Accessed 21.09.07
- 169 Murray, D. (2005). "Oil and food: A new security challenge". Asia Times Online June 3 2005. Available at: http://www.atimes.com/atimes/Global_Economy/GF03Dj01.html Accessed 21.09.07
- 170 <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/rapport-nano-2014.pdf>
- 171 Analyse critique de ce rapport sur le site Veille Nanos : <http://veillenanos.fr/wakka.php?wiki=BilanDeclarationObligatoire20122013#definition>

- 172 Critique du rapport commandé par les ministères de l'Économie, de la Défense, de l'Environnement, de l'Agriculture, et de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche sur « *le déploiement des nanotechnologies et de la biologie de synthèse* », publié fin mars 2014 : <http://sciencescitoyennes.org/tag/biologie-synthetique/>