

« Du Labo, dans nos assiettes : les nanotechnologies dans l'alimentation et l'agriculture »

Rapport préparé par les Amis de la Terre-Australie, Europe et Etats-Unis avec le soutien des Amis de la Terre-Allemagne (Mars 2008)

Rédaction de Georgia Miller et du Dr Rye Senjen dans le cadre du « Projet Nanotechnologies » des Amis de la Terre d'Australie.

Contribution de Patricia Cameron, John Hepburn, Helen Holder, guillermo Foladori, George Kimbrel, Aleksandra Kordecka, Kristen Lyonsn Ian Illuminato,, Arius Toltoshev, Gyorgy Scrinis, Katja Vaupel, Jurel Vengels et bien d'autres.

Pour une copie électronique de la version anglaise ou pour d'autres rapports des Amis de la Terre voir nos sites internet

Amis de la Terre / Friends of the Earth Australie : <http://nano.foe.org.au>

Amis de la Terre / Friends of the Earth Europe : www.foeeurope.org/activities/nanotechnology/index.htm

BUND, Amis de la Terre Allemagne : www.bund.net

Amis de la Terre / Friends of the Earth Etats-Unis : www.foe.org/camps/comm/nanotech

Dans ce rapport rédigé par les Amis de la Terre / Friends of the Earth Australie, Europe et Etats-Unis, toute mention aux Amis de la Terre / Friends of the Earth se rapporte aux groupes rédacteurs et pas à la Fédération internationale, Friends of the Earth International.

Il s'agit d'une traduction partielle amateur pour permettre au plus grand nombre de pouvoir accéder à ces informations importantes pour chaque citoyen. Nous ne garantissons pas une exactitude complète. D'autre part, pour alléger le texte français, nous avons supprimé toutes les références dans la traduction. (Les Amis de la Terre des Landes)

« Du Labo, dans nos assiettes : les nanotechnologies dans l'alimentation et l'agriculture »

SOMMAIRE

- Résumé
- Courte introduction dans les nanotechnologies
- Les nanotechnologies rentrent dans la chaîne alimentaire
- Les nanotechnologies et la transformation des aliments
- Nanotechnologies utilisées dans l'emballage et les produits en contact avec les aliments
- Nanotechnologies utilisées dans l'agriculture
- Les nano-aliments et nano-agrotoxiques présentent de nouveaux risques sanitaires

Non traduits :

- Les nano-aliments et nano-agrotoxiques présentent de nouveaux risques pour l'environnement
- Il est temps de choisir des agricultures et des aliments écologiquement responsables
- Nécessité de règlements nano-spécifiques pour assurer la sécurité des aliments
- Le droit de dire non aux nano-aliments
- Recommandation pour une agriculture et une alimentation écologiquement responsables

- *Glossaire*

Appendice A : liste des produits agricoles et alimentaires identifiés par les Amis de la Terre comme contenant des nano-procuits fabriqués

Appendice B : Résumé des règlements européens potentiellement applicables aux nano-aliments et aux nano-emballages

Références

RÉSUMÉ

Des produits créés à l'aide des nanotechnologies sont en train de contaminer la chaîne alimentaire et ce, en l'absence de tout étiquetage obligatoire, de tout débat public ou de la moindre réglementation. Les nano-particules fabriquées, les nano-émulsions et les nano-capsules se retrouvent dans les pesticides agricoles, les aliments confectionnés industriellement, les emballages alimentaires et les matériaux en contact avec les aliments y compris les récipients de stockage, la coutellerie et les planches à couper. Les Amis de la Terre ont repéré 106 de ces produits actuellement en vente, mais nous pensons qu'il ne s'agit que d'une petite fraction des produits déjà commercialisés.

On définit provisoirement les nanotechnologies comme le domaine relatif aux matériaux, systèmes et process qui opèrent à une échelle de 100 nanomètres (nm) ou moins. Cela inclut la manipulation de matériaux et la création de structures et systèmes à l'échelle de l'atome et des molécules, l'échelle nano. Les propriétés et les effets des particules à l'échelle nano sont très différents de celles de particules de même composition chimique mais de taille plus grande. Les nano-particules peuvent être plus réactives chimiquement et plus bioactives que de grandes particules. Du fait de leur très petite taille, elles peuvent aussi pénétrer beaucoup plus facilement dans nos corps que des particules plus grandes et dans les cellules, les tissus et nos organes. Ces nouvelles propriétés offrent de nombreuses possibilités nouvelles pour des applications dans l'industrie alimentaire comme, des additifs nutritifs puissants, des colorants et des agents de saveur plus forts ou des composants antibactériens pour les emballages alimentaires.

Le nombre d'études scientifiques qui démontrent que certains des nano-matériaux actuellement utilisés dans les aliments et les produits agricoles entraînent de nouveaux risques pour la santé et l'environnement est en forte augmentation. Il a été prouvé par exemple, que les nano-particules d'argent, de dioxyde de titane, de zinc ou d'oxyde de zinc - matériaux actuellement utilisés dans des compléments alimentaires, des emballages alimentaires et des matériaux en contact avec les aliments – sont hautement toxiques pour les cellules dans des tests in vitro. Des études environnementales récentes laissent penser aussi que ces substances peuvent être toxiques pour des espèces écologiquement importantes comme les puces d'eau. Malgré tout cela, il n'y a pour l'instant aucune réglementation particulière pour les nanotechnologies, ni aucun test exigé avant que des nano-matériaux soient utilisés dans les aliments, les emballages ou les produits agricoles.

Des études d'opinion montrent que face à l'ignorance scientifique quant aux risques que représentent les nanomatériaux dans les additifs alimentaires, les ingrédients et les emballages, les gens ne veulent pas manger de nano-aliments. Mais comme aucun règlement n'exige que les nano-produits présents dans l'alimentation ne soient étiquetés nous n'avons strictement aucun moyen pour choisir une alimentation sans nano-produit.

D'une manière plus générale, les nanotechnologies menacent aussi le développement d'une agriculture et de modes d'alimentation durables. Bien que les ventes globales de produits bio et la production de ces mêmes produits connaissent une croissance continue, les nanotechnologies risquent de renforcer la dépendance de l'agriculture à des techniques basées sur la chimie et une forte consommation d'énergie. Alors que sur fond de changements climatiques, il y va de l'intérêt général de réduire les distances entre consommateurs et producteurs, les nanotechnologies vont servir à promouvoir les transports de produits frais ou transformés sur des distances encore plus grandes. Il est à craindre que les nanotechnologies n'accroissent encore le contrôle des grandes entreprises multinationales sur l'agriculture mondiale et les systèmes alimentaires et réduisent encore le pouvoir des paysans à contrôler eux-mêmes, localement, la production alimentaire.

Les risques environnementaux et sanitaires graves et les conséquences sociales liés aux nanotechnologies dans l'agriculture amènent les Amis de la Terre / Friends of the Earth d'Australie, d'Europe, et des Etats-Unis à exiger :

Qu'un moratoire soit mis en place sur toute commercialisation de produits alimentaires, d'emballages alimentaires, de matériaux en contact avec les aliments ou d'agrototoxiques (produits phytosanitaires) contenant des nanomatériaux fabriqués, tant que des réglementations encadrant spécifiquement les nanotechnologies n'auront pas été mises en place et que les citoyens n'auront pas été activement impliqués dans les prises de décision.

Des réglementations spécifiques aux nanotechnologies doivent garantir que :

Les nanomatériaux sont réglementés en tant que nouvelles substances

- Tout nanomatériau fabriqué à dessein doit être l'objet de nouvelles études de risque en tant que substance nouvelle, même si les propriétés de ses homologues à grandes particules sont connues.
- Tout nanomatériau fabriqué à dessein doit être l'objet d'études spécifiquement conçues pour les nanotechnologies et visant à évaluer les conséquences sur la santé et l'environnement ; avant toute autorisation de commercialisation pour des usages dans l'alimentation, l'emballage alimentaire, les produits en contacts avec les aliments ou les applications agricoles, il doit être démontré aussi que ce matériau ne pose aucun problème.

La définition basée sur la taille est revue à la hausse

- Toutes les particules mesurant jusqu'à 300 nm doivent être considérées comme des « nanomatériaux » dans les études de risques pour la santé et l'environnement, étant donné qu'il est prouvé qu'elles posent des problèmes sanitaires semblables à ceux que posent des particules de moins de 100 nm, définies comme nano-particules.

Transparence dans les études de risque et étiquetage des produits

- Toutes les données importantes en lien avec les études de risques et les méthodes utilisées sont du domaine public.
- Tout nano-ingrédient fabriqué est indiqué clairement sur l'étiquette du produit pour permettre à tout citoyen d'être informé lors de son choix.

Nous demandons aussi que :

Les citoyens sont impliqués dans les prises de décision

- Les citoyens, y compris tout groupe, partie prenante concernée, doit être impliqué dans tous les aspects de la prise de décision concernant les nanotechnologies dans l'alimentation et l'agriculture. Cela inclut le développement de cadres réglementaires, de règles d'étiquetage et la priorité donnée à ce que des fonds publics financent la recherche en alimentation et agriculture. Le droit des citoyens à refuser les nano-aliments doit être explicitement reconnu.

L'agriculture et l'alimentation bio et paysannes sont soutenues

La demande de la société pour une agriculture et une alimentation durables doit être un élément important dans l'évaluation des nanotechnologies dans l'agriculture et l'alimentation, et dans le processus de décision.

Une courte introduction dans les nanotechnologies

Que sont les nanotechnologies ?

Le terme nanotechnologies ne décrit pas une technique unique, mais englobe plutôt un ensemble de technologies qui opèrent à l'échelle des éléments de base des matériaux biologiques et sont fabriqués, à l'échelle du nanomètre.

Les nanotechnologies ont été provisoirement définies comme les techniques qui opèrent sur des matériaux, des systèmes et des procédés à échelle de 100 nm ou moins. Les nanomatériaux ont été définis comme ayant au moins une dimension mesurant d'au maximum 100 nm ou ayant au moins une dimension à cette échelle et qui affecte le « comportement » et les propriétés du matériau. Pourtant cette définition risque de s'avérer trop étroite dans le cadre des évaluations de risques sanitaires et environnementaux.

Un nanomètre est un millième de micromètre, un millionième de millimètre et un milliardième de mètre. Pour illustrer ce qu'est un nanomètre : l'ADN fait 2,5 nm de largeur, une molécule de protéine 5 nm, un globule rouge 7 000 nm et un cheveu humain 80 000 nm de largeur. Imaginons qu'une nano-particule soit représentée par une personne, un globule rouge ferait 7 km de long !

Les nanotechnologies : un domaine technologique

Les nouvelles propriétés des nano-matériaux offrent de nouvelles possibilités pour les industries agricoles et alimentaires par exemple pour des colorants alimentaires, des agents de goût ou des compléments alimentaires plus puissants, des composants antibactériens pour les emballages alimentaires et pour créer des agrottoxiques (produits phytosanitaires) et des engrais plus puissants. Dans bien des cas, la même technologie peut permettre des applications tout le long de la chaîne des opérations agricoles ou alimentaires. Des matériaux composites par exemple, à base de nano-argile – plastiques sur lesquels des plaquettes d'argile à l'échelle nanométrique ont été ajoutées – sont maintenant utilisés largement dans les emballages pour les aliments et les boissons ainsi que dans les tuyaux et plastiques à usage agricole pour permettre la diffusion contrôlée d'herbicides et ont été étudiés comme enrobage pour contrôler la diffusion d'engrais. La capacité d'appliquer les nanotechnologies à travers de nombreux secteurs permet, non seulement de meilleurs retours sur les investissements en recherche, mais permet aussi aux firmes d'étendre leurs activités économiques dans de tout nouveaux segments commerciaux et de nouvelles industries. C'est pour cette raison que les nanotechnologies sont souvent présentées comme un nouveau domaine technologique.

Il est prévu dans les années et décades à venir qu'une « nouvelle génération de nanotechnologies » aille bien au-delà de l'utilisation de simples particules ou de composants encapsulés, et qu'on assiste au développement de nano-outils, de nano-systèmes et de nano-machines bien plus complexes. On nous prédit que les applications des nanotechnologies dans les biotechnologies (nanobiotechnologies) permettront, non seulement de manipuler le matériel génétique des humains, des animaux et des plantes agricoles mais aussi d'incorporer des matériaux synthétiques dans les structures biologiques et inversement. La convergence des technologies de l'échelle nanométrique pourrait permettre la création d'organismes nouveaux entièrement artificiels afin d'être utilisés dans la transformation des produits alimentaires, l'agriculture, les agrocarburants, etc (ETC Group 2007). Ce domaine a été nommé « biologie synthétique ».

Nano-matériaux : nouvelles propriétés donc nouveaux risques

C'est la petite taille des particules qui leur confère de nouvelles propriétés qui peuvent présenter des risques nouveaux. Les nano-particules ont une surface relative beaucoup plus grande, ce qui peut généralement engendrer une réactivité chimique, une activité biologique et un comportement catalytique plus importants qu'avec des particules plus grandes. Les nano-matériaux ont aussi un accès beaucoup plus facile dans notre corps (disponibilité biologique) et sont plus abondamment absorbés dans des cellules individuelles, des tissus et des organes. Des matériaux qui mesurent moins de 300 nm peuvent être absorbés par des cellules individuelles, tandis que des particules qui mesurent moins de 70 nm peuvent même être absorbées à l'intérieur du noyau de la cellule où elles peuvent causer des dommages très importants.

Malheureusement, cette réactivité chimique et cette capacité d'absorption plus importantes peuvent aussi avoir pour conséquence une toxicité plus grande des nano-particules, en comparaison à la même unité de masse de particules plus grandes du même élément chimique. Autres propriétés des nanomatériaux qui influencent leur toxicité : la composition chimique, la forme, la structure de la surface, la charge de la surface, le comportement catalytique, la capacité de s'agréger (clumping) ou de se désagréger et la présence ou non d'autres groupes d'éléments chimiques attachés à la nano-particule.

Certains nano-matériaux se sont avérés être toxiques pour les tissus humains et des cellules humaines en culture, lors d'études *in vitro* (dans des éprouvettes). Ils ont entraîné une augmentation à la fois du stress oxydant, de la production de protéines provoquant une réponse inflammatoire, des dommages de la structure du noyau de la cellule et des perturbations de la croissance et de l'activité de la cellule, ainsi que des dommages dans la structure des mitochondries allant même jusqu'à la mort de la cellule. Il a été démontré que des nano-matériaux comme le dioxyde de titane, l'argent, le zinc et l'oxyde de zinc sont toxiques pour les tissus et les cellules dans des expériences *in vitro* et testés sur des animaux (voir tableau 8).

Les nano-matériaux ont des propriétés et des comportements si divers qu'il est impossible de fournir une évaluation générale des risques qu'ils posent pour l'environnement et la santé. La forme, la charge et la taille des différentes particules peuvent influencer leur cinétique (absorption, distribution, métabolisme et excrétion) et leurs propriétés toxiques. C'est pour cette raison que même des nano-matériaux de même composition chimique, mais de tailles différentes peuvent avoir des différences énormes de toxicité. Tant que nous ne comprenons pas mieux les comportements biologiques des nano-matériaux, il est impossible de prédire les risques toxiques associés à un matériau particulier et tout nouveau nano-matériau doit être l'objet d'une étude de risque pour la santé et l'environnement, avant toute utilisation commerciale. En 2006, Maynard notait qu'« *il est évident à la lecture des études de toxicité publiées, que la taille de la particule n'est pas à elle seule un bon critère pour différencier entre matériaux et technologies plus ou moins dangereux* ». Cependant la taille de la particule demeure un critère évident - quoiqu'un peu grossier - qui devrait déclencher des tests plus complets et la caractérisation de la particule, avant toute autorisation de mise sur le marché du produit.

Limite de 100 nm pour les nano-matériaux : insuffisante pour les études de risques sanitaires et environnementaux

L'Organisation Internationale des Normes (ISO) et ASTM International ne se sont pas encore mis d'accord sur une définition pour les nano-matériaux, basée sur la taille ou d'autres critères. De nombreux organismes gouvernementaux et des institutions scientifiques ont cependant commencé à utiliser la définition provisoire des nano-matériaux, comme étant des matériaux ayant de nouvelles caractéristiques dépendant de la taille et qui ne se retrouvent pas dans des particules de taille supérieure du même matériau. Généralement, cela s'applique à une particule dont au moins une dimension se situe entre 0,2 et 100 nm (entre le niveau de l'atome et 100 nm). Cette définition reste arbitraire, mais on a considéré qu'il est plus probable que les matériaux de moins de 100 nm affichent de nouvelles propriétés nano-spécifiques, à cause de leur grande surface relative et de la dominance des effets quantiques à cette échelle. Parmi les modifications de propriétés, on trouve une augmentation de la réactivité chimique, des changements de couleurs, de résistance, de solubilité, de conductivité électrique, etc. Un point important aussi, concerne le fait que les nano-particules pénètrent plus facilement dans les cellules de nos corps que des particules plus grandes. Dans leur rapport de 2004, la Royal Society et la Royal Academy of Engineering présentaient les particules libres de moins de 100 nm comme ayant le potentiel le plus important de nuire à la santé humaine.

Le bien fondé de cette limite a été pourtant remis en cause, notamment pour les études de risques environnementaux et sanitaires. Au niveau international, on reconnaît de plus en plus que des particules de plus de 100 nm présentent des comportements anatomiques et physiologiques similaires à celles de nano-matériaux. On a notamment observé, dans des particules qui mesurent plusieurs centaines de nanomètres, des comportements dépendants de la taille comme de très fortes réactivité, bioactivité et facilité d'absorption, ainsi qu'une augmentation de l'influence des effets superficiels des particules et une forte adhérence de la surface de la particule. Des études récentes vont dans le même sens et ont montré que des particules qui mesurent quelques centaines de nanomètres et même jusqu'à 1000 nm peuvent poser des problèmes comparables à ceux de particules considérées actuellement comme nano.

Les gouvernements et les scientifiques ne savent pas encore quelle est la meilleure taille pour définir les nano-matériaux

Les gouvernements, les organismes de standardisation et les revues scientifiques n'arrivent pas à se mettre d'accord sur la taille qui serait la plus appropriée pour définir les nano-matériaux et les soumettre à des études de risques sanitaires et environnementaux spécifiques. Nous ne savons encore que très peu de choses sur le pourquoi des propriétés différentes des nano-matériaux par rapport à des particules plus grandes ou comment des facteurs comme la forme, la taille, la charge de surface, etc. interagissent pour affecter la toxicité, ou sur le comportement biologique des nano-particules. En fait, nous n'en savons pas encore assez pour déterminer la bonne limite de taille à laquelle les nano-matériaux devraient être soumis à des études de risques sanitaires et environnementales spécifiques, bien qu'il apparaisse de plus en plus évident que la limite des 100 nm soit insuffisante au moins dans certains cas.

Pour tenir compte de cette grande incertitude, quant à la taille la plus appropriée pour considérer qu'un matériau est un nano-matériaux, diverses agences gouvernementales, institutions scientifiques et de recherches ont utilisé différentes tailles pour les définir.

Dans son Schéma industriel de notification volontaire de 2006, le gouvernement britannique a défini les nano-matériaux comme « *ayant une ou deux dimensions allant jusqu'à 200 nm* ». Dans un rapport de 2006, le groupe de travail Chemical Selection de l'Agence pour l'Alimentation et les Médicaments des Etats-Unis (FDA) définissait les nano-matériaux comme étant « *des particules avec des dimensions de moins d'un micromètre (1000nm) présentant des propriétés non connues dans des particules d'un micron ou plus* ». Des scientifiques de l'alimentation de l'Organisation de Recherche Industrielle et Scientifique du Commonwealth (CSRIO) en Australie ont aussi défini les nano-matériaux comme mesurant jusqu'à 1000 nm. Dans un rapport de 2007 sur les nano-matériaux, la FDA propose de ne donner aucune définition.

Pourquoi les Amis de la Terre / Friends of the Earth recommandent de définir les nano-matériaux comme mesurant moins de 300 nm.

Les Amis de la Terre / Friends of the Earth reconnaissent qu'il n'y a pas de relation claire entre la taille d'une particule et son comportement biologique, étant donné le peu de connaissances dont nous disposons sur d'autres facteurs comme la forme, les propriétés de surface, la charge, les couches, etc. Il est cependant nécessaire de fixer une limite à partir de laquelle des particules pouvant présenter des risques toxicologiques doivent être soumises à de nouvelles études appropriées sur leur innocuité et à de nouvelles réglementations, avant toute autorisation de mise sur le marché agricole ou alimentaire. Étant donné que les particules de quelques centaines de nm de taille partagent beaucoup des comportements physiologiques et anatomiques des nano-matériaux, y compris la possibilité d'être absorbés dans des cellules individuelles et étant donné que des études récentes montrent que des particules de cette taille peuvent poser des risques toxicologiques dus à leur taille, le principe de précaution doit s'appliquer. Pour les études de risques, nous proposons la limite de 300 nm afin que les particules soient traitées comme des nano-matériaux.

Pour permettre la comparaison entre les études et les discussions citées dans ce rapport avec d'autres documents, nous réserverons le terme de nano-particules à des particules qui ont au moins une dimension qui mesure moins de 100nm.

Mais cela ne nous empêche pas, vu les preuves de risques nano-spécifiques associés à des particules de plusieurs centaines de nm, de réitérer notre demande aux législateurs responsables de la gestion et de l'évaluation des risques sanitaires et environnementaux pour qu'ils exigent que des particules de moins de 300 nm soient aussi soumises à des tests et des réglementations spécifiques avant toute autorisation d'utilisation commerciale dans des produits alimentaires ou alimentaires.

Nano-particules fabriquées et nano-particules fortuites

On désigne sous le terme de nano-particules « fabriquées », celles qui sont produites volontairement. Cela inclut les nano-particules (oxyde de métaux comme l'oxyde de zinc ou le dioxyde de titane) ainsi que des structures créées par nanotechnologies comme les nano-tubes, les nano-câbles, les points quantiques, les dendrimères, les fullerènes de carbone (buckyballs) et bien d'autres.

Les nano-particules, elles, ne sont pas fabriquées volontairement, mais apparaissent soit naturellement, soit sont les produits secondaires de procédés industriels. Les sources de nano-particules - aussi appelées particules ultra-fines – que l'on retrouve dans les études sur la pollution de l'air proviennent des feux de forêts, des éruptions volcaniques, des procédés industriels à haute température comme les combustions, les soudages, les laminages ainsi que des gaz d'échappements des autos, camions et motos. Bien que, historiquement, les humains aient été exposés à un petit nombre de ces nano-particules fortuites, cette exposition est restée limitée jusqu'à l'avènement de l'ère industrielle.

Ce nouveau domaine de recherche, la nanotoxicologie, se base sur l'étude des risques liés aux nano-matériaux fabriqués. On sait par exemple, qu'une exposition à des niveaux élevés de particules fortuites dans l'air pollué des villes provoque une augmentation des maladies et même la mort chez des personnes vulnérables.

Dans ce rapport, les Amis de la Terre se concentrent sur les nano-particules fabriquées, utilisées dans l'alimentation et l'agriculture. Nous reconnaissons cependant que la présence de particules fortuites dans les aliments, due par exemple à l'usure de certains équipements, pourrait aussi poser des problèmes que le législateur devrait prendre en compte.

Microparticules : attention, là aussi danger !

Des études récentes laissent penser que, bien que des centaines de fois plus grandes que des nano-particules, les petites microparticules (entre 1 et 20 microns ou entre 1 000 et 20 000 nm) peuvent aussi poser des problèmes de santé. Les microparticules n'ont pas la même capacité d'absorption que les nano-particules et ne peuvent pas être absorbées par des cellules individuelles. Elles sont aussi comparativement moins réactives et bioactives chimiquement. Pourtant leur réactivité et leur disponibilité biologique demeure bien plus importante que celles de grandes particules. Des études sur des rats ont montré que le système digestif pouvait absorber des particules mesurant jusqu'à 20 microns, principalement par l'intermédiaire des « tache de Peyers » dans le petit intestin. Des études pathologiques suggèrent aussi que des microparticules mesurant jusqu'à 20 microns peuvent être absorbées par le système digestif, transportées dans le corps, s'accumuler dans des organes secondaires où des dommages pathologiques à long terme peuvent leur être associés, comme le développement de granulomes et des lésions. Ces deux types d'affections peuvent avoir des effets à long terme sur la santé, aboutissant à des inflammations chroniques et même des cancers.

Au-delà de nos demandes spécifiques concernant les nano-matériaux, les Amis de la Terre demandent aussi que le législateur se penche sur la nécessité de mettre en place des réglementations et des études de risques pour les petites microparticules.

Les nanotechnologies entrent dans la chaîne alimentaire

Comment définit-on le terme nano-aliments ?

Le terme nano-aliments décrit les aliments qui ont été cultivés, produits, transformés ou emballés en employant les outils ou les techniques des nanotechnologies, ou auxquels ont été ajoutés des nanomatériaux manufacturés. Des exemples de nano-composants et de nano-additifs manufacturés comprennent les nanoparticules de fer ou de zinc et des nano-capsules contenant des composants comme le coenzyme Q10 ou l'Omega 3.

Les futures générations d'humains pourront manger n'importe quelle nourriture sans se préoccuper des calories. Le sucre, le sel, les graisses, le cholestérol, toutes ces choses que nous aimons mais qu'il faut consommer avec modération aujourd'hui seront disponibles sans restriction demain. La nourriture à base de pilules de type cosmonautes ne verra jamais le jour. Au contraire, dans l'avenir, apprécier de somptueux repas sera un des grands moments de chaque jour (Sawyer 1990)

Les nanotechnologies sont en train de sortir du laboratoire et entrent dans tout le secteur de la production alimentaire. Les nanomatériaux manufacturés sont déjà employés dans certains produits alimentaires, dans des suppléments nutritifs, dans beaucoup d'emballages, dans le stockage des aliments et dans certains intrants agricoles (engrais et pesticides. Dans ce rapport, nous utilisons le terme pesticide – ou agrottoxique - pour désigner tout produit chimique employé pour contrôler les parasites ou les maladies qui attaquent les animaux ou les plantes. Ce terme comprend donc les pesticides et les herbicides). Les recherches des Amis de la Terre sur l'emploi des nanotechnologies le long de la chaîne alimentaire révèlent que les aliments qui contiennent des nano-composants et des nano-additifs ne sont pas des objets de science fiction mais qu'on les trouve déjà sur les rayons des supermarchés.

L'emploi commercial des nanotechnologies et des nanomatériaux par l'industrie alimentaire est tenu secret. La répugnance des fabricants d'aliments à parler de l'utilisation des nanotechnologies et des nanomatériaux est aggravée par l'absence de réglementation sur l'étiquetage qui demanderait aux fabricants d'identifier les nano-aliments. Il est donc impossible d'être absolument sûr si oui ou non un produit donné contient des nano-composants. Les estimations sur les nano-aliments commercialement disponibles varient largement ; les analystes des nanotechnologies estiment que, sur le marché, il y a déjà entre 150 et 600 nano-aliments et entre 400 et 500 nano-emballages des aliments.

L'appendice A présente une liste de 106 produits qui contiennent des nanomatériaux fabriqués et sont disponibles dans le commerce : aliments, suppléments nutritifs, matériels ayant un contact avec les aliments comme les conteneurs de stockage et les planches à découper, les produits chimiques agricoles, tels que les agrottoxiques, les traitements de croissance des plantes et les engrais chimiques (le tableau 1 fournit un résumé). Etant donné la réticence des industriels de l'agroalimentaire de parler de leur utilisation des nanotechnologies, il est probable que notre liste ne représente qu'une petite fraction des produits contenant des nanomatériaux et disponibles sur le marché .

Tableau 1 : Exemples d'emplois actuellement de nanomatériaux dans l'agriculture, les aliments et les emballages alimentaires. (Voir Appendice A pour une liste complète)

Type de produits	Nom du produit & fabricants	Nano-composant	But
Supplément nutritifs	Nanocéutiques Poudre de "mycrohydrine", RBC Lifesciences	Cages moléculaires de diamètre 1-5 nm fait à partir d'hydride de silice	la mycrohydrine de taille nano a augmenté la puissance et la biodisponibilité. L'exposition à l'humidité dégage des ions H et agit comme un puissant oxydant
Boisson nutritive	Boisson nutritive au chocolat Oat , Toddler Health	Particules de 300nm de fer (SunActive Fe)	
Matériel de contact alimentaire (cuisine)	Planche à découper A-Do Global	Nanoparticules d'argent	Les nanoparticules de fer ont augmenté la réactivité et la biodisponibilité
Matériel de contact alimentaire (vaisselle)	Tasse de bébé Baby Dream	Nanoparticules d'argent	Les nanoparticules d'Ag ont augmenté les propriétés antibactériennes.
Matériel de contact alimentaire(ustensiles)	Ustensile antibactérien Nanocaretech/NTC	Nanoparticules d'argent	Les nanoparticules d'Ag ont augmenté les propriétés antibactériennes
Emballage alimentaire	Adhésif pour les barquettes Burger de McDonald Ecosyntetiix	Nanoparticules d'argent	Les nanoparticules d'Ag ont augmenté les propriétés antibactériennes
Emballage alimentaire	Emballage plastique Durethan®KU 2-2601, Bayer	Nano-sphères d'amidon de 50-150 nm	Ces nanoparticules ont 400 fois l'aire occupé par la surface des particules d'amidon naturelle. Utilisées comme adhésif, elles demandent moins d'eau et donc moins de temps et d'énergie pour sécher.
Additif alimentaire	Conservateur Aquasol AquaNova	Nanoparticules de silice	Les nanoparticules de silice dans le plastique empêchent la pénétration d'oxygène et les gaz de l'emballage, allongeant sa durée de vie dans les rayons.
Traitement de croissance des plantes	PrimoMaxx, Syngenta	Nano-émulsions (taille des particules 100 nm)	L'utilisation des nanoparticules accroît la puissance des composants actifs, en réduisant la quantité à appliquer.

Les produits nano-alimentaires en cours d'élaboration sont beaucoup plus nombreux. Vers 2010, on estime que les ventes de nano-aliments vaudront presque 6 milliards de dollars US. Une bonne partie des plus grandes entreprises alimentaires du monde, comme Heinz, Nestlé, Unilever et Kraft, explorent les nanotechnologies pour la préparation industrielle et l'emballage des aliments. Une bonne partie des plus grandes entreprises agrochimiques du monde et les entreprises de semences ont aussi des programmes actifs de recherche et de développement sur les nanotechnologies. (tableau 2)

Tableau 2

Une sélection des plus grandes entreprises agricoles et alimentaires engagées dans la recherche et le développement des nanotechnologies (ETC Group 2004; Innovest 2006 Renton 2006; Wolfe 2005).

Altria (Kraft Foods)
 Associated British Foods
 Ajinomoto
 BASF
 Bayer
 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.
 Nestlé
 Northern Foods
 Nichirei
 Nippon Suisan Kaisha
 PepsiCo
 Sara Lee
 Syngenta
 Unilever
 United Foods

Les nanotechnologies ont des applications possibles dans tous les aspects liés à l'agriculture, l'emballage et la transformation des aliments et même au contrôle des aliments et des exploitations agricoles:

- méthodes pour permettre à des aliments tels que les boissons non alcoolisées, les glaces ou les frites d'être commercialisées comme aliments « diététiques » en réduisant les graisses, les hydrates de carbone et le contenu en calories ou en augmentant le contenu en protéine, en fibre ou en vitamine.
- Production de parfums plus forts, de colorants, d'additifs nutritifs et des outils de traitement pour accroître le rythme de fabrication et baisser les coûts des composants et du traitement.
- Le développement d'aliments capables de changer de couleur, de saveur ou de propriétés nutritives selon les besoins diététiques des personnes, les allergies ou les préférences de goût. (important dans le programme de recherche des géants alimentaires comme Kraft et Nestlé.)
- Conditionnement pour augmenter la vie en rayons des aliments en détectant la détérioration, les bactéries ou la perte de nutriments et, en réponse, libération des agents antimicrobiens, de saveurs, des colorants
- Composition nouvelle des intrants sur l'exploitation agricole pour produire des engrais, des traitements de croissance des plantes ainsi que des pesticides plus puissants qui répondent à des conditions et des cibles précises.

Les nanotechnologies et la transformation des aliments

Les recherches des Amis de la Terre révèlent que les aliments qui contiennent des composants et des additifs de taille nano sont déjà dans les rayons des supermarchés. Pour les Amis de la Terre, il est particulièrement inquiétant de constater la présence de ces nano-aliments non testés et non réglementés. D'autant que les preuves démontrant les risques de qu'ils présentent, s'accumulent.

Aujourd'hui, les nano- aliments sont une réalité

La vision des nano-aliments décrits par les scientifiques des nanotechnologies alimentaires comprend des liquides qui peuvent changer de couleur, de goût et de texture en appuyant sur le bouton d'un micro-onde et des produits sur mesure pour répondre aux exigences nutritives et sanitaires des individus. Cependant, alors qu'on peut mieux décrire ces applications comme étant la « prochaine génération » de nano-aliments, des produits plus communs sont tout près d'être commercialisés. Nestlé aurait déjà développé une glace à base de nano-émulsion avec un contenu plus bas en graisse et qui conserve cependant une texture et une saveur grasses. Dès maintenant, on utilise des additifs nano-nutritifs pour augmenter le contenu en vitamines et en minéraux de certains aliments traités et pour accélérer la fabrication de viandes traitées.

Des nanos dans votre saucisse La solution de NovaSol pour conserver la viande et stabiliser la couleur

La saucisse industrielle et les salaisons demandent l'addition de nombreux additifs pour accélérer les procédés de production, pour stabiliser les couleurs et « améliorer » le goût. L'entreprise allemande Aquanova a développé un système de nano-porteurs utilisant des micelles de 30 nm pour mettre en capsules des ingrédients actifs, tels que les vitamines C et E et des acides gras qu'on peut utiliser comme conservateurs et comme aides au traitement. AquaNova commercialise ses micelles et déclare que le système de nano-porteurs augmente la puissance et la biodisponibilité des ingrédients actifs. Le magazine allemand de l'industrie « Fleischwirtschaft » déclare que NovaSol offre des avantages considérables pour les préparateurs de viandes : traitement plus rapide, ingrédients moins chers, meilleure stabilité des couleurs, et forme liquide prête à l'emploi.

Ces additifs - dans la composition desquels des nano-produits sont présents - ont été à la disposition des fabricants allemands depuis 2006. Ils peuvent être utilisés dans toute une gamme de salaisons et de saucisses, actuellement disponibles pour les consommateurs européens. L'impossibilité d'identifier les nano-ingrédients sur les étiquettes des produits empêche le consommateur de les repérer. On peut penser aussi qu'à cause des exportations, des consommateurs du monde entier ont été exposés à ces produits.

Des nano-particules et des particules allant jusqu'à 300 nm de taille sont ajoutées à de nombreux aliments transformés

Des composants actifs en nano-capsules comprenant des vitamines et des acides gras sont maintenant commercialisés pour être utilisés dans la préparation et la conservation des boissons, des viandes, des fromages et d'autres aliments. Des nano-particules et des particules de quelques centaines de nanomètres sont délibérément ajoutées à de nombreux aliments pour améliorer leurs propriétés d'écoulement (versement), la couleur et la stabilité pendant la préparation, ou pour augmenter leur vie dans les rayons des supermarchés. Par exemple, les silicates d'aluminium sont couramment utilisés comme agents anticoagulants dans les aliments transformés en poudre ou granulats, alors que l'anatase (TiO₂) est un additif alimentaire blanchissant courant, utilisé en confiserie, dans certains fromages et dans des sauces. Dans leur forme normale (classique, taille de particules plus grandes), ces additifs alimentaires sont d'habitude biologiquement inertes et les contrôleurs de l'Union Européenne et d'ailleurs les considèrent sans danger pour la consommation humaine. Cependant, ces contrôleurs ne font pas de distinction entre la taille des particules quand ils évaluent la sécurité des additifs alimentaires, en dépit des preuves croissantes que, quand elle sont produites à l'échelle nano, ces substances présentent des risques de toxicité bien plus élevés que leur équivalent classique. On a trouvé par exemple, des

particules de dioxyde de titane de 200 nm immunologiquement active et pouvant encourager des inflammations. Des scientifiques ont suggéré que les particules d'une centaine de nanomètres qui sont utilisées comme additifs alimentaires pouvaient être un facteur dans le taux croissant de maladies auto-immunes comme le syndrome d'irritation de l'intestin et la maladie de Crohn.

Les nanoparticules et les particules mesurant jusqu'à 300nm sont aussi utilisées comme additifs nutritifs

Les additifs nutritifs sont une autre source croissante de nano-particules dans les aliments. L'Institut de Médecine de l'Académie Nationale des Sciences des Etats-Unis définit les « aliments fonctionnels » - aussi dénommés alicaments (combinaison des mots : aliments et médicaments) - comme des aliments qui « *offrent un avantage pour la santé au-delà des éléments nutritifs traditionnels que contient la nourriture* ». Le marché des aliments fonctionnels mondiaux croît rapidement, atteignant 73,5 milliards de dollars en 2005. Les produits laitiers, les céréales, les pains et les boissons sont maintenant renforcés avec des vitamines, des minéraux tels que le fer, le magnésium ou le zinc, les probiotiques, les peptides bioactifs, les antioxydants, les stérols des plantes et le soja. Certains de ces composants actifs sont ajoutés maintenant aux aliments sous formes de nano-particules ou particules mesurant quelques centaines de nanomètres.

La nano-encapsulation consiste en la mise d'un composant actif dans une capsule nanométrique. Les composants actifs comprennent des vitamines, des agents de conservation et des enzymes. Il y a peu de temps encore, ces composants étaient ajoutés aux aliments dans des microcapsules, mais maintenant ils sont aussi fabriqués dans des capsules des milliers de fois plus petites, pour essayer d'en augmenter la puissance. De nombreux additifs alimentaires à base d'Oméga 3 utilisés habituellement ont une taille de l'ordre du micromètre, comme les huiles de thon mises en microcapsules de 140-180 microns, utilisées dans le Driphorm® de Nu-Mega pour « fortifier » la gamme de pains australienne Tip Top. De plus en plus d'entreprises pourtant, comme Aquanova et Zymes, offrent des Omega 3 dans des nano-capsules de 30 à 40 nm (c'est à dire 4000 fois plus petites que l' échelle adoptée par Nu-Mega !). La gamme de composants bioactifs de Novasol d'Aquanova, mis en nano-capsules, comprend aussi des vitamines , la coenzyme Q10, des isoflavones , des flavonoïdes, des caroténoïdes, des extraits phyto, des huiles essentielles, des agents de conservation, des colorants alimentaires et d'autres substances bioactives. On retrouve ses produits dans une vaste étendue d'additifs alimentaires tels que Solu™ E200BG commercialisé par BASF qui est une nano-solution de vitamine E, à la formule composée spécialement pour des boissons claires comme les boissons pour sportifs ainsi que les eaux minérales parfumées ou au goût rehaussé.

L'efficacité des composants des alicaments dépend de la conservation et de l'amélioration de leur biodisponibilité. Fabriquer des nano-composants actifs ou mettre ces composants dans des nano-capsules transmet une plus grande biodisponibilité, une meilleure solubilité et plus de puissance quand on les compare aux substances sous forme plus grande ou mises en microcapsules. En nous les vendant, on nous fait miroiter des avantages pour les consommateurs. La force plus grande des nano-additifs, peut-être réduire les quantités requises et avantager ainsi ceux les industries agroalimentaires. En fait, le fait qu'elles plus facilement absorbables par nos organismes et plus réactives chimiquement créer de nouveaux risques pour la santé.

Les méthodes modernes de transformation des aliments produisent des nano-particules

Le début de discussion sur les risques potentiels pour la santé que représentent nanomatériaux dans les aliments a surtout porté sur les aliments fabriqués avec des nanomatériaux ou sur les additifs du conditionnement alimentaire mais on a ignoré les nanoparticules créées pendant la transformation. En effet, des nanoparticules sont aussi présentes dans de nombreux aliments à cause de la technologie utilisée pour les transformer et non pas parce que ce sont des additifs alimentaires ou des composants. Bien que les technologies de transformation des aliments ne soient pas nouvelles, l'augmentation rapide de la consommation d'aliments extrêmement transformés augmente certainement davantage notre exposition aux nanoparticules dans les aliments.

Les techniques de transformation qui produisent des nanoparticules, des particules mesurant jusqu'à quelques centaines de nanomètres et des nano-émulsions sont utilisées dans la fabrication des assaisonnements de salade, dans les sirops au chocolat, les édulcorants, les huiles parfumées et beaucoup d'autres aliments transformés. La formation des nanoparticules et des nano-émulsions à partir des composants peut provenir de techniques de transformation alimentaire, telles que les homogénéiseurs haute pression, les broyeurs à sec , les broyeurs à jet et l'émulsification par ultrason. Même si de nombreux fabricants d'aliments peuvent ne pas être entièrement conscients que leurs aliments contiennent des nano-particules, il est probable que ces techniques de

transformation soient utilisées précisément parce que les changements de structure et des propriétés d'écoulement (fluidité), qui résultent de ces nano-émulsions et des nanoparticules, sont séduisantes pour les fabricants.

Une recherche récente a aussi trouvé des nano-particules dans les aliments et le mot les mots les plus appropriés pour les décrire est produits contaminants. Le Docteur Antonietta Gatti, chercheur en nano-pathologie, a trouvé que de nombreux produits alimentaires contiennent des nanoparticules insolubles et inorganiques qui n'ont pas de valeur nutritives et qui semblent avoir involontairement contaminé les aliments : par exemple à la suite de l'usure des machines transformant les aliments ou par une pollution de l'environnement. Gatti et ses collègues ont analysés des pains et des biscuits et ils ont trouvé qu'à peu près 40% étaient contaminés par des microparticules et des nanoparticules inorganiques.

Alors que ce rapport porte sur les questions associées à l'addition intentionnelle de nanomatériaux dans les aliments, les emballages alimentaires et les produits agricoles, nous pensons que les implications pour la santé des techniques de transformations des aliments qui produisent des nanoparticules et des nano-émulsions, justifient également l'attention du législateur. Le potentiel de tels aliments de poser de nouveaux risques pour la santé doit être étudié et on doit décider si oui ou non de nouvelles normes de sécurité alimentaire sont nécessaires. En comprenant mieux les risques pour la santé des nanoparticules dans la pollution de l'air, on a fait des efforts pour la réduire. De même, une meilleure compréhension des risques pour la santé associés aux nano-polluants alimentaires peut aussi justifier des efforts pour réduire la contamination des aliments transformés par ces nano-polluants.

Nanotechnologies utilisées dans le conditionnement alimentaire et dans les matériaux en contact avec les aliments

Prolonger la vie en rayons des aliments emballés

Une des premières applications commerciales des nanotechnologies dans le secteur alimentaire est le conditionnement. Actuellement, on estime qu'entre 400 et 500 nano-produits d'emballage sont commercialisés. Dans la prochaine décennie, on prévoit que les nanotechnologies seront utilisées dans la fabrication de 25% de tous les emballages alimentaires.

Un des principaux buts des nano-emballages est d'obtenir une plus longue vie dans les rayons en améliorant les fonctions de barrières du conditionnement alimentaire. Il s'agit de réduire l'échange de gaz et d'humidité ainsi que l'exposition aux rayons. DuPont par exemple, a annoncé la mise en vente d'un plastique contenant comme nano-additif du TiO_2 , le « DuPont Light Stabilizer 210 » qui pourrait réduire les dommages causés par les UV aux aliments qui sont dans un emballage transparent. En 2003, près de 90% (en valeur) des nano-emballages étaient à base de nano-composites. Ces nanomatériaux étaient utilisés pour améliorer les fonctions de barrières des emballages en plastique des aliments, des bouteilles de bière, des boissons non alcoolisées et des jus (voir Appendice A pour les produits). Les nano-emballages peuvent être aussi conçus pour libérer des agents antimicrobiens, des antioxydants, des enzymes, des parfums et des amicalements pour prolonger la vie dans les rayons des supermarchés.

Nano-emballages libérant des produits chimiques

Les nano-emballages libérant des produits chimiques permettent aux emballages alimentaires d'interagir avec les aliments qu'ils contiennent. L'échange peut se faire dans les deux sens. L'emballage peut libérer, à échelle nano, des antimicrobiens, des antioxydants, des saveurs, des parfums ou des amicalements dans les aliments et les boissons pour prolonger leur vie dans les rayons ou pour améliorer leur goût ou leur odeur. Inversement, les nano-emballages utilisant des nano-tubes de carbone sont conçus avec la capacité de « pomper » l'oxygène ou le dioxyde de carbone qui entraîneraient autrement, la détérioration des aliments et des boissons. Mais des

nano-emballages pouvant absorber des saveurs indésirables sont aussi en développement. Dans de nombreux cas, les emballages libérant des produits chimiques incorporent aussi des éléments de surveillance : en réponse à un événement déclencheur particulier, le no-emballage libérera des produits chimiques à l'échelle.

Les nano-enrobages comestibles

La plupart d'entre nous sommes habitués à voir ces enrobages cireux, utilisés notamment sur des pommes. Les nanotechnologies permettent maintenant le développement de nano-enrobages d'une épaisseur de 5 nm, invisibles à l'oeil nu. Ces nano-enrobages comestibles pourraient être utilisés sur les viandes, les fruits et légumes, les fromages, les pâtisseries, les confiseries et la restauration rapide. Ils pourraient jouer le rôle de barrière pour stopper les échanges gazeux ou d'humidité, de support pour fournir des colorants, des agents de saveurs, des anti-oxydants, des enzymes et des agents anti-brunissant ou comme agent ou bien prolonger la vie en rayon des produits manufacturés même après que l'emballage soit ouvert. La compagnie états-unienne Sono-Tek Corp a annoncé début 2007 qu'elle avait mis au point un nano-enrobage comestible et anti-bactérien qui peut être directement appliqué sur les pâtisseries. La firme procède actuellement à des tests avec ses clients.

Tableau 3 : Exemple de nano-emballage en cours de développement, libérant des produits chimiques

Entreprises/ Institution	Nano-contenu	But
CSP technologies	Polymère capable de libérer des composants dans les aliments ou les boissons en réponse à des stimuli externes	Contrôle sur l'humidité, l'oxygène, les bactéries et même la saveur de l'aliment lui-même (LeGood et Clarke 2005).
Kraft	" Langue électronique" basée sur des nano-senseurs capables de " goûter " des produits chimiques à une concentration de quelques parties par milliards et de guider alors la libération d'éléments chimiques .	Contrôler la libération d'odeur, de goût et d'alicaments dans les produits alimentaires selon les préférences des consommateurs. (Wolfe 2005).

Emballages antimicrobiens et matériels pour contact alimentaire, à l'échelle nano

Certains emballages sont conçus pour déclencher la libération de produits chimiques en réponse à la croissance d'une population microbienne, à l'humidité ou tout autre changement de conditions. D'autres emballages et matériaux en contact avec la nourriture incorporent des nano-matériaux antimicrobiens de telle sorte que l'emballage lui-même agit comme un agent antimicrobien. Ces produits utilisent couramment des nanoparticules d'argent bien que certains utilisent à l'échelle nano de l'oxyde de zinc ou du dioxyde de chlore (tableau 4). On prévoit aussi que l'oxyde de magnésium et l'oxyde de cuivre, à l'échelle nano, et des nanotubes de carbones seront utilisés dans les emballages alimentaires antimicrobiens.

Tableau 4: Emballage antibactérien à l'échelle nano et matériels de contact avec les aliments (PEN 2007). Liste basé sur le " Project on Emerging Nanotechnology Consumer (8/08/2007)

Entreprises/ Institution	Application
SongSing Nano Technology Co.Ltd	Film alimentaire traité avec du nano-oxyde de Zn
Sharper Image	Sacs d'emballage plastique pour aliments, traités avec du nano-argent
BlueMoonGoods,A-DO Global, Quan Zhou Hu Zhen Nanotechnology Co.Ltd et Sharper Image	Conteneurs de stockage de la nourriture traité avec du nano-argent
Daewoo, Samsung et LG	Frigidaire traités avec du nano-argent
Baby Dream® Co.Ltd	Tasse de bébé traitée avec du nano-argent
A-DO Global	Planche à découper traitée avec du nano-argent
SongSing Nano Technology Co.Ltd	Théière traitée avec du nano-argent
Nano Care Technology Ltd	Ustensiles de cuisine traités avec du nano-argent

Nano-détecteurs et emballages de surveillance (track and trace)

Les emballages équipés de nano-détecteurs sont conçus pour surveiller les conditions internes ou externes des produits alimentaires, des pilules et des conteneurs tout au long de la chaîne d'approvisionnement. Un tel emballage peut, par exemple, contrôler au cours du temps, la température ou l'humidité et fournir alors d'importants renseignements sur ces conditions, par exemple en changeant la couleur (tableau5). Des entreprises aussi diverses que Nestlé, British Airways, les supermarchés MonoPrix, 3M et beaucoup d'autres encore emploient déjà des emballages équipés de détecteurs chimiques.

Les nanotechnologies offrent de nouveaux outils plus sophistiqués pour étendre ces capacités et réduire les coûts. Les nanotechnologies permettent aussi aux emballages équipés de détecteurs d'incorporer des balises RFID (Identification de fréquence radio) bon marché. Contrairement aux premières balises RFID, les balises RFID de type nano sont beaucoup plus petites, peuvent être flexibles et sont imprimées sur de fines étiquettes. Cela augmente la polyvalence des balises (par exemple en permettant l'emploi d'étiquettes qui sont efficacement invisibles) qui sont aussi bien moins chères à la production.

D'autres variétés de technologies d'emballage de surveillance avec nano-détecteurs sont aussi en cours de développement. L'entreprise états-unienne Oxonica Inc a développé des nano code-barres qui seront utilisés pour des articles ou des pastilles individuelles et qui doivent être lus avec un microscope modifié. On les a d'abord développés pour lutter contre les contrefaçons. pSiNutra, une scission de l'entreprise de nanotechnologies pSivida, nous annonce une nanotechnologie de surveillance qui peut être ingérée. Les produits de pSiNutra comprennent « des produits pour détecter des agents pathogènes dans les aliments, pour suivre la trace des aliments, pour les conserver et pour mesurer la température lors du stockage des aliments.

Tableau 5 : Emballage avec nano-détecteurs, en cours de développement

Promoteur	Nano-contenu	But
Georgia Tech aux USA	Bio-détecteurs à base de nano-tubes de carbone à plusieurs feuillets	Détecte les microorganismes, les protéines toxiques ou la détérioration des aliments et des boissons (Nachay 2007)
Université de Southampton (Royaume-Uni) Deutsches Kunststoff-Institut, Allemagne	Film " Opal" incorporant des nanoparticules de carbone noir de 50nm	Change la couleur en réponse à la détérioration des aliments El Amin 2007d
Université de Strathclyde, Ecosse	Encre sensible à l'oxygène à base de nanoTiO ₂	Infalsifiable El Amin 2006a
Australian Company MiniFab	Bio-détecteurs à base de nanotechnologies	Détecte la contamination biologique Invest Australia 2007

Nano-emballages biodégradables

L'emploi de nanomatériaux pour renforcer les « bioplastiques » (plastiques à base de plantes) pourrait permettre d'utiliser ces derniers dans les emballages alimentaires ou comme sacs de transport et de présenter une alternative aux plastiques basés sur les combustibles fossiles (Voir tableau 6)

Tableau 6 : Développement des bioplastiques contenant des nano-composites

Promoteur	Contenu nano	But
Plantic Technologies Australia	Nano-biopolymères composites Revêtement non spécifié	Production de plastiques biodégradables. Fournis à 80% du marché des boîtes de chocolat australien, y compris Cadbury (Invest Australia 2007)
Rohm and Hass USA	Nano-biopolymères composites utilisant le Paraloid BPM 500	Utilisé pour renforcer PLA, une résine en plastique biodégradable faite à partir du maïs; Maintien de la transparence du plastique
" sustainpack" 35 universités et instituts de recherche et partenaires d'entreprises de 13 pays européens	Nano-biopolymères composites utilisant de la nano-argile	Pour renforcer les emballages biodégradables à base de fibres et pour rendre l'emballage imperméable (nanowerk 2007)
Université technique du Danemark et autres	Nano-biopolymères composites utilisant de la nano-argile et autres minéraux	L'emploi des nano-argiles et d'autres minéraux pour renforcer les bioplastiques (Université du Danemark 2007)
Organisation de recherche industrielle et scientifique d'Australie	Nano-biopolymères composites Revêtement non spécifié	Nano-composites qui sont combustibles, compostables, renouvelables et neutres au CO ₂

Nano-revêtement anti-adhérent pour les bouteilles de sauce tomate et de mayonnaise

Plusieurs instituts de recherche allemands, de partenaires de l'industrie et l'Université de Technologie de Munich ont joint leurs efforts pour développer un nano-emballage anti-adhérent qui mette fin aux traces de restes de mayonnaise et de ketchup au fond des bouteilles et au besoin de taper ou de secouer les bouteilles pour enlever ces restes. Dans ce but, les chercheurs ont appliqué sur la surface intérieure de l'emballage alimentaire, de minces films qui mesurent moins de 20nm. Ils ont déjà conçu leurs premiers échantillons et ils espèrent mettre ce nouvel emballage en vente, d'ici 2 ou 3 ans. Les chercheurs font la promotion de leur produit comme étant une solution qui respecte l'environnement en réduisant les traces de restes des condiments dans les bouteilles. Etant donné les inquiétudes que les nanomatériaux fabriqués soient disséminés dans l'environnement en passant dans les eaux usées ou leur du recyclage et puissent présenter une nouvelle gamme de risques écologiques graves, il est probable que de tels emballages créent plus de problèmes de pollution qu'ils n' en résolvent.

LES NANOTECHNOLOGIES UTILISÉES EN AGRICULTURE

Avec les nanotechnologies, apparaît toute une panoplie de nouveaux pesticides, de régulateurs de croissance des plantes ou d'engrais chimiques potentiellement encore plus dangereux que ceux, utilisés actuellement, alors que la raison voudrait que l'on soutienne des modes de culture durables. En mettant à disposition de nouveaux outils de manipulation des gènes, les nanotechnologies risquent de participer activement à l'expansion des plantes créées par génie génétique.

Bien que les systèmes interactifs à base de nanotechnologies, pour la bonne marche des exploitations agricoles soient encore pour un moment dans les cartons, ils pourraient à terme provoquer une automatisation encore plus importante des opérations agricoles, entraînant une augmentation de la taille des exploitations et une diminution des emplois sur les fermes.

Les nanotechnologies sont déjà utilisées commercialement

Parmi les premiers produits phytosanitaires élaborés par nanotechnologies et présents sur le marché, on trouve des reformulations nanotechnologiques de régulateurs de croissance des plantes, de fongicides et de traitements complets des semences, déjà existants. Les compagnies d'agrottoxiques (produits phytosanitaires) ont réduit la taille des particules des émulsions chimiques existantes, à l'échelle nanométrique ou ont encapsulé les ingrédients actifs dans des nano-capsules conçues pour s'ouvrir sous certaines conditions, comme par exemple en réaction à la lumière du soleil, à la chaleur ou aux conditions alcalines dans l'estomac d'un insecte.

Dans leur étude Joseph et Morrison remarquent que « de nombreuses firmes fabriquent des produits avec de nouvelles formules qui contiennent des nano-particules comprises entre 100 et 250 nm et qui sont capables de se dissoudre plus efficacement dans l'eau que les produits existants (ce qui accroît leur activité). D'autres compagnies utilisent des nano-particules en suspension. Ces nano-émulsions à base d'eau ou d'huile contiennent une suspension uniforme des nano-particules d'herbicides ou de pesticides de tailles comprises entre 200 et 400 nm ».

Le Ministère de l'Environnement des Etats-Unis (EPA) a reconnu qu'il a été contacté par plusieurs fabricants intéressés par l'utilisation de pesticides nanométriques. Pourtant, aucun grand groupe agrochimique n'a avoué

fabriquer des produits avec des particules mesurant 100nm ou moins. Syngenta, le premier groupe agrochimique mondial qui vend depuis plusieurs années son régulateur de croissance Primo MAXX à la formule nanométrique, fait exception. Primo MAXX est commercialisé comme concentré de micro-émulsion (Syngenta). Les Amis de la Terre Australie contactèrent la firme et dans un premier temps, un porte-parole de Syngenta Australie reconnu que d'autres fongicides ou traitements des semences de la gamme de concentrés de micro-émulsions, MAXX, contenaient des particules d'une taille de 100nm. Plus tard, le porte-parole revint sur ses propos et affirma aux Amis de la Terre Australie qu'aucun autre produit de Syngenta ne contenait des nano-particules. La situation serait bien plus claire si l'étiquetage de ces produits était obligatoire. Le tableau 7 fournit des informations sur les nano-agrotoxiques qui sont actuellement en vente ou développés.

Comme pour les nano-capsules et les nano-émulsions développées pour les secteurs de l'alimentation et de l'emballage, la taille plus petite des nano-particules a pour objectif de les rendre plus puissantes.

Les manipulations nanogénétiques des plantes agricoles et des animaux

Depuis des décennies, les biologistes moléculaires ont cherché à créer par génie génétique, des microbes, des plantes ou des animaux, mais ils se sont heurtés à des limites et des obstacles. Les nano-biotechnologies semblent offrir maintenant toute une panoplie d'outils pour manipuler les gènes des plantes ou des animaux, en utilisant des nano-particules, des nano-fibres et des nano-capsules plutôt que des vecteurs viraux pour transporter l'ADN étranger et les molécules chimiques dans la cellule. Ces nanomatériaux peuvent transporter un nombre de gènes beaucoup plus important ainsi que des molécules chimiques qui déclenchent l'expression des gènes. Théoriquement, l'utilisation des nanotechnologies pourrait offrir aussi un contrôle plus important sur l'insertion de l'ADN à l'endroit souhaité. Les nanobiotechnologies permettent déjà à des scientifiques de recombiner l'ADN de plantes agricoles. En 2004, l'ETC Group annonçait que des chercheurs de l'Université Chiang Mai en Thaïlande avaient pu changer la couleur d'un riz, de pourpre à vert. Les chercheurs thaïs espéraient en bout de course, en utilisant leur technique, obtenir des vérités de riz Jasmine qui pourraient être cultivées toute l'année, avec des tiges plus courtes et une meilleure couleur du grain. D'autres rapports évoquaient aussi l'injection dans les cellules d'ADN étranger à l'aide de nano-fibres de carbones pour modifier génétiquement le riz doré

Tableau 7 : Nano agrotoxiques en développement

Type de produit	Nom du produit et fabricant	Contenu nano	But
“Super” combinaison de pesticide et engrais (Programme de Coopération Scientifique et Technologique du Pakistan et des Etats-Unis 2006).	Programme de Coopération Scientifique et Technologique du Pakistan et des Etats-Unis	Les produits MAXX de Syngenta sous forme de « concentrés de micro-émulsion » ont tous des particules de 100 nm de taille (communication personnelle de Peter Ark de Syngenta)	Il peut être conçu pour relâcher lentement des ingrédients actifs, les traitements nécessitent une seule application dans la vie de la plante
Herbicide (Raj 2006).	Université Agricole du Tamil Nadu (Inde) et Institut Technologique de Monterrey (Mexique)	formule nanotechnologique	Conçu pour attaquer l'enveloppe des graines des adventices, détruire les graines dans le sol des bordures et empêcher la germination des adventices
Pesticides, incluant des herbicides (Invest Australie 2007).	Organisation de Recherche Scientifique et Industrielle du Commonwealth, Australie	Nanocapsules	La très petite taille des nano-capsules augmente leur puissance et pourra peut-être permettre le relâche ciblé d'ingrédients actifs.

La biologie synthétique cherche à créer des organismes entièrement nouveaux

La « biologie synthétique » est le nom donné à un nouveau domaine qui combine le génie génétique, les nanotechnologies et l'informatique. La Royal Society britannique a décrit la biologie synthétique comme étant « *un domaine de recherche émergeant que l'on peut décrire en gros, comme la conception et la construction de nouveaux cheminements, organismes ou outils biologiques, artificiels ou le remodelage de systèmes biologiques déjà existants* ». La Royal Society explique que « *l'application des principes d'ingénierie à la conception et la construction de systèmes biologiques complexes représente un saut important comparé au bidouillage actuel des génomes, communément appelé génie génétique* ».

Il est probable qu'il faudra attendre encore quelque temps avant que des organismes artificiels soient capables de se reproduire eux-mêmes, bien que des avancées importantes vers le développement de la vie synthétique soient en train d'avoir lieu. Le premier pas vers la création d'un organisme artificiel a été réalisé récemment, lorsque des chercheurs en biologie synthétique ont réussi à vider entièrement une bactérie de son matériel génétique et l'ont remplacé par celui d'une autre bactérie, transformant littéralement une espèce en une autre, pour la première fois, hors virus.

La biologie synthétique a des applications potentielles pour l'ensemble des systèmes agricoles et de production alimentaire. L'ETC Group rapporte que la société Amyris Biotechnologies développe des microbes synthétiques pour produire des alicaments (aliments avec des propriétés médicinales ou pharmaceutiques), des vitamines et des agents de saveur pour la transformation alimentaire.

La firme Codon Devices développe aussi des applications de la biologie synthétique pour l'agriculture et s'efforce notamment d'améliorer l'efficacité et le contrôle du génie génétique pour les plantes. Pour plus d'informations dans le domaine de la biologie synthétique, voir ETC Group (2007).

Nano-détecteurs pour la surveillance et le contrôle des opérations agricoles

Des détecteurs nanotechnologiques et nanobiotechnologiques sont conçus pour toute une gamme d'applications agricoles. Une firme de recherche australienne a développé des « gammes nano » qui pourraient avoir des applications dans la surveillance de la croissance des cultures, l'élevage des animaux et les diagnostics de maladies. Leurs développeurs pensent que cela va permettre de fabriquer un instrument portable qui pourra prendre un échantillon de lait de vache et indiquer en une heure si les bactéries qui provoquent la mastite bovine sont présentes ou non. Un autre groupe australien a développé un nouvel instrument portable de contrôle qui peut détecter des poux ovins sur la lame d'une tondeuse à mouton. Le système utilise une détection colorimétrique reposant sur des amas de nano-particules d'or. D'autres applications potentielles pour des nano-détecteurs portent sur l'amélioration de la génétique végétale ou animale.

Les recherches pour développer des nano-systèmes de surveillance permettant une surveillance à distance et en dernier ressort une gestion automatique de l'exploitation agricole en sont encore au stade du développement.

Dans le futur, leurs partisans espèrent que les systèmes de surveillance nanotechnologiques et nanobiotechnologiques permettront le développement de systèmes de surveillance tout petits et autosuffisants sur le plan énergétique qui pourront être répartis sur l'exploitation et surveiller efficacement les conditions locales, comme l'humidité du sol, la température, le pH, l'azote disponible, la présence d'adventices et les maladies ou la bonne santé des plantes ou des animaux.

Bath et Turberfield ont compilé en 2007, des documents sur ce qu'ils appellent les nano-machines à ADN « *dans lesquelles des molécules individuelles agissent seules ou de concert comme des machines spécialisées* », capables de répondre à des stimuli externes. Ils ont noté que des détecteurs à base d'ADN qui réagissent à la température et au pH ont déjà été développés. On nous prédit aussi des systèmes nanotechnologiques et interactifs de surveillance pouvant réagir aux données observées par exemple en relâchant des nano-engrais comme réponse au constat d'un stress par manque d'azote. Bien que l'intérêt soit grand pour ces systèmes de gestion agricole, il est probable cependant que leur mise au point attende encore quelque temps.

Les nano-aliments et nano-agrotoxiques présentent de nouveaux risques sanitaires

L'incorporation de nano-produits fabriqués dans les aliments, les boissons, les additifs nutritionnels, les emballages alimentaires, les enrobages de produits comestibles, les engrais, les pesticides et les traitements complets des semences entraîne toute une gamme de nouveaux risques pour les citoyens, les salariés de l'industrie alimentaire et les agriculteurs.

Les nano-produits fabriqués peuvent poser de sérieux risques sanitaires

Nos mécanismes de défense ne sont pas aussi efficaces qu'ils le sont avec des particules plus grandes pour débarrasser nos poumons, notre système digestif et de nos organes, des nano-particules. Les nano-particules adhèrent aussi plus fortement que des particules plus grandes aux surfaces, à l'intérieur de nos corps. Du fait de ces facteurs et de leur très petite taille, les nano-particules ont plus de chance d'être incorporées dans nos cellules ou nos tissus que des particules de taille plus grande.

De nombreuses expériences in vivo sur des rats et des souris ont démontré que les nano-particules et les particules de petite taille étaient retenues dans le système digestif. L'examen pathologique de tissus humains suggère aussi que les nano-particules jusqu'à 20 nanomètres de grandeur sont ingérées et transportées.

Un nombre croissant de preuves démontrent que certaines nano-particules manufacturées sont plus toxiques par unité de masse que des particules plus grandes de même composition chimique. On considère par exemple que le dioxyde de titane est inerte biologiquement sous sa forme habituelle et on l'utilise largement comme additif alimentaire. Pourtant, des expériences in vitro montrent que des nano-particules ou des particules de dioxyde de titane jusqu'à une taille de quelques centaines de nanomètres endommagent l'ADN, perturbent les fonctions cellulaires, interfèrent avec les activités de défense des cellules immunitaires et, en absorbant des fragments de bactéries et en les faisant passer « en fraude » dans le système digestif, provoquent des inflammations. Une seule dose orale de nano-particules de dioxyde de titane provoqua des lésions significatives des reins et des foies de souris femelles.

Le tableau 9 présente un résumé des preuves de toxicité de quelques-uns des nano-produits utilisés aujourd'hui dans l'industrie alimentaire.

Non seulement, les nano-particules inquiètent à cause de leur toxicité immédiate, mais leur caractère non dégradable inquiète aussi lorsqu'elles sont ingérées et peuvent avoir des effets pathologiques à long terme. Un petit nombre d'études cliniques suggèrent que les nano-particules non dégradables et les petites microparticules qui ne provoquent pas de réponse toxique aiguë, peuvent s'accumuler dans nos corps et, avec le temps, provoquer des « nanopathologies », par exemple des granulomes, des lésions (régions endommagées de cellules ou de tissus), des cancers ou des caillots sanguins.

A notre connaissance, aucune étude à long terme n'a été menée pour étudier le potentiel de toxicité chronique. Même de longues expériences sur des animaux (2 ans) ne permettent pas d'identifier correctement le potentiel qu'ont des nano-particules de causer des problèmes de santé à long terme, sur le cours d'une vie humaine. Bien qu'il y ait consensus scientifique sur le fait qu'inhaler de l'amiant peut provoquer un cancer, on reste perplexe lorsqu'on sait que les expériences menées sur des animaux dans le but de mettre en évidence ce lien n'aboutissent à aucune conclusion. En effet, le développement d'un cancer dû à l'amiant prend plus de temps que l'espérance de vie des animaux de laboratoire.

Tous ces faits montrent que le principe de précaution devrait être le principe de base, lors de la mise en place de réglementations, afin d'assurer que des expositions à long terme à des nanomatériaux fabriqués n'entraînent pas des problèmes de santé.

Une urgence : s'attaquer aux risques professionnels

Comme lors de la production de nanomatériaux, les ouvriers qui manipulent

transforment, emballent ou transportent des aliments ou des intrants agricoles qui contiennent des nano-produits fabriqués, seront plus exposés que le grand public et ce, de façon quotidienne. C'est un grand sujet d'inquiétude car les scientifiques ne savent pas quel niveau d'exposition aux nano-matériaux peut être dangereux pour la santé des ouvriers et si un taux d'exposition professionnel à ces produits peut être sans danger ou non. Qui plus est, il n'existe ni système, ni équipement sûrs pour empêcher l'exposition dans le cadre professionnel et il faut encore élaborer une base générale pour mesurer et caractériser l'exposition aux nano-matériaux qui se produit dans les faits.

Pourquoi les nano-particules posent de nouveaux problèmes

- les nano particules sont plus réactives chimiquement que des particules plus grandes
- les nanoparticules pénètrent aussi plus facilement dans nos organismes
- leur plus grande capacité d'absorption et de bioactivité peut provoquer de nouveaux risques de toxicité
- les nano-particules peuvent perturber nos réponse immunitaires
- les nanoparticules peuvent avoir des effets pathologiques à plus long terme

Nous ne savons que très peu de choses sur la nano-toxicité. Nous ne savons

- ni à quels taux d'exposition nous sommes confrontés
- ni quels niveaux d'exposition peuvent nuire à notre santé et s'il y a même un niveau d'exposition sans danger

Des études ont déjà montré que les nano-matériaux atteignent la circulation sanguine par inhalation, ce qui pourrait être la première voie d'exposition des ouvriers aux nanomatériaux. Quelques nanomatériaux au moins, peuvent pénétrer la peau, surtout si elle est « assouplie » ou exposée à des surfactants (produits destinés à réduire les tensions de surface), ce qui est très probable dans de nombreux ateliers. Des nano-particules et même des particules de petite taille peuvent pénétrer par une peau endommagée ou blessée.

Problèmes de santé publique liés aux aliments « nano-fortifiés »

Il est alarmant que si peu d'études aient été consacrées à la toxicité des nano-particules utilisées comme additifs alimentaires. Pourtant quelques expériences préliminaires ont montré que des nano particules ingérées et même de petites particules de zinc peuvent endommager gravement des organes et provoquer une coagulation du sang chez les souris. Ceci est d'autant plus inquiétant que des particules de fer et de zinc de 300nm sont maintenant commercialisées pour la « fortification » d'aliments et de boisson (Les produits de SunActive commercialisés par Tayio International).

Nanoparticules et le lien avec la maladie de Crohn et les dysfonctionnements du système immunitaire

Il est bien connu que les gens qui souffrent d'asthme sont très sensibles à la pollution de l'air. En effet, les asthmatiques agissent comme « les canaris dans la mine », en alertant les gens autour d'eux que les niveaux de pollutions de l'air deviennent dangereux. De nouvelles études tendent à montrer que les niveaux existants de nanoparticules et de particules de quelques centaines de nanomètres de taille dans la nourriture transformée pourraient être liées aux taux en augmentation de dysfonctionnement du système immunitaire et d'inflammations du système digestif (Ashwood et al. 2007 ; Gatti 2004 ; Lomer et al. 2001 ; Lucarelli et al. 2004). Des scientifiques ont laissé entendre que l'apparition en augmentation de la maladie de Crohn – une inflammation chronique de l'appareil digestif qui peut mener au cancer – pourrait être un signal similaire, en relation avec les nanoparticules et les particules de quelques nanomètres dans notre nourriture (Ashwood et al. 2007 ; Schneider 2007).

Le potentiel de certains nano-additifs alimentaires puissants, de délivrer des doses excessives de vitamines ou de minéraux est aussi inquiétant. Par exemple Food Processing.com, une revue industrielle en ligne, nous apprend qu'aux Etats-Unis, une firme fait maintenant la promotion de sa vitamine E avec sa formule nano qui permet de *« fournir 10 fois la dose recommandée par adulte par jour, sans altérer ni le goût, ni l'apparence des eaux claires et fortifiées ainsi que des autres boissons »*. Pourtant, il est clair pour les scientifiques que des substances qui ne sont pas toxiques en soi peuvent avoir des effets toxiques si elles sont consommées de façon excessive. Une surconsommation de vitamine A, par exemple, peut avoir des effets négatifs sur le squelette et les fractures des os (Downs 2003). Une consommation excessive de vitamine B6 peut provoquer des désordres nerveux se traduisant par des douleurs, des engourdissements et des faiblesses des membres (Etats-Unis IOM 1998) ; une surconsommation d'acide folique peut provoquer des dommages neurologiques handicapants (Etats-Unis IOM 1998).

Si les nano-additifs et suppléments alimentaires fournissent des doses excessives de vitamines et d'éléments nutritionnels cela peut se faire aussi aux dépens de l'absorption d'autres substances nutritives. Le Dr Qasim Chaudhry qui dirige l'équipe de recherche sur les nanotechnologies au Central Science Laboratory du Royaume-Uni, prévient que les nano particules et les ingrédients alimentaires nano-encapsulés *« peuvent avoir des effets inattendus, des absorptions bien plus grandes que celles visées ou bien altérer l'absorption d'autres éléments nutritifs mais actuellement on ne sait quasiment rien »*. La possibilité subsiste aussi que des ingrédients ou des contaminants de taille nanométrique puissent eux-mêmes poser des problèmes de toxicité qu'il sera difficile d'identifier pour ceux qui fixent un cadre réglementaire.

Pour le consultant britannique, Neil Craddock, un expert en pointe sur le contrôle sanitaire des aliments, il sera difficile pour les autorités de contrôle de détecter et estimer l'innocuité de contaminants ou d'ingrédients de taille nanométrique : *« L'analyse d'un échantillon de la taille d'une nano-particule ne sera pas un test journalier »*. En clair, cela veut dire que les schémas de gestion des risques pour assurer la non-toxicité des nano-aliments sont confrontés à des obstacles matériels potentiellement insurmontables, ce qui remet fortement en question le fait que des réglementations appropriées puissent garantir leur innocuité.

Au-delà du besoin de s'assurer de l'innocuité des nano-additifs, il serait peut-être plus utile, dans une perspective de santé publique, de se poser la question de l'utilité de ces aliments « fortifiés » grâce à des nano-éléments nutritifs. De plus en plus de fabricants vantent leurs aliments ou boissons nano-fortifiés, en affirmant qu'ils couvrent une grande partie ou la totalité des besoins journaliers d'un individu. Chez Toddler Health, la gamme de « boissons nutritionnelles » fortifiées à la vanille et au chocolat qui contient des particules de fer de 300 nm de la firme SunActive, est commercialisée comme *« boisson nutritionnelle naturellement équilibrée pour enfants entre 13 mois et 5 ans. Une portion de Toddler Health aide nos petits à satisfaire leurs besoins en vitamines, minéraux et protéines »* (Toddler Health, non daté).

Aussi « fortifiés » qu'ils puissent être, les nano-aliments ne peuvent pas remplacer la valeur nutritive d'un régime alimentaire basé sur une variété d'aliments peu transformés. Pourtant, il est tout à fait possible que la promotion de nano-aliments pousse les gens à manger moins de fruits et légumes, avec les conséquences négatives pour la santé publique qui s'en suivront.

Exposition et danger sanitaires liés aux emballages de nano-aliments

Les futures technologies d'emballages conçus pour relâcher dans le temps des nano-capsules d'additifs gustatifs ou nutritionnels, de colorants, de parfums, dans les aliments ou les boissons, présentent des avantages pour les transformateurs comme des coûts d'emballage réduits et une vie en rayon allongée pour les boissons et les aliments. Pourtant, il est clair qu'une des conséquences de ces emballages conçus pour relâcher des nano-capsules dans les aliments, sera l'ingestion de nanomatériaux fabriqués via ces aliments ou ces boissons. Les prétendus avantages pour le consommateur comme des saveurs ou des parfums plus forts semblent dérisoires face aux nouveaux risques pour la santé liés à l'ingestion de nanomatériaux. Les nano-enrobages comestibles développés pour les bonbons, les pâtisseries, les fruits et les légumes frais auront pour conséquence l'ingestion de nanomatériaux avec les risques potentiels associés.

L'utilisation de nano-matériaux dans des matériaux au contact des aliments comme les emballages, les films plastiques, les récipients de stockage ou les planches à couper, augmentent la probabilité que des nanomatériaux soient ingérés vu qu'il apparaît tout à fait possible que ces matériaux passent des différents emballages dans les aliments eux-mêmes. On sait déjà que des polymères ou des additifs chimiques contenus dans des emballages conventionnels peuvent passer de ceux-ci dans les aliments. Inversement, on sait que des saveurs et des éléments nutritifs peuvent passer des aliments vers l'emballage plastique.

Tableau 8: Preuves expérimentales de la toxicité d'une sélection de nanomatériaux actuellement utilisés et commercialisés par l'industrie alimentaire

Nanomatériaux et utilisation actuelle	Taille et description physique	Preuve expérimentale de toxicité
Dioxyde de titane Largement employé sous forme de petites ou microparticules comme additif alimentaire ; est développé sous forme de nano particules comme anti-microbien dans les emballages alimentaires et les récipients de stockage	20nm	détruit l'ADN (in vitro; Donaldson et al. 1996)
	30nm mélange de rutile et d'anatase (formes du dioxyde de silicium)	A produit des radicaux libres dans des cellules immunes du cerveau (in vitro; Long et al. 2006)
	nano particules, taille inconnue, sous forme de rutile et d'anatase	ADN de cellules de peau humaine, endommagé lorsqu'elles sont exposées aux UV de la lumière (in vitro; Dunford et al. 1997)
	Quatre tailles 3-20nm, mélange de rutile et d'anatase	De fortes concentrations perturbent les fonctions des cellules de la peau et des poumons. Particules d'anatase 100 fois plus toxiques que les particules de rutile (in vitro; Sayes et al. 2006)
Argent Utilisé comme anti-bactérien dans les emballages alimentaires et les récipients de stockage, les planches à couper et les réfrigérateurs	25nm, 80nm, 155nm	des particules de 25nm et 80nm ont causé des lésions du foie et des reins de souris femelles. Du TiO ₂ s'est accumulé dans les tissus du foie, de la rate des reins et des (in vivo; Wang et al. 2007b)
	15nm	Hautement toxiques pour certaines cellules reproductrices des souris (in vitro; Braydich-Stolle et al.2005)
	15nm, 100nm	Hautement toxique pour les cellules du foie des rats (in vitro; Hussain et al. 2005)
Zinc Petites particules en dessous du micron utilisées comme additif alimentaire, sous forme de nano particules, utilisé comme anti-microbien dans l'emballage alimentaire	15nm, forme ionique	Toxique pour les cellules du cerveau des rats (in vitro; Hussain et al. 2006)
	20nm, 120nm poudre d'oxyde de zinc	120nm particules ont causé des lésions effet-dose dans le foie le coeur et la rate de souris. Des particules de 20nm ont endommagé le foie, la rate et le (in vivo; Wang et al. 2007a)
	19nm d'oxyde de zinc	Toxique pour les cellules humaines et celle de rat même à de très faibles (in vitro; Brunner et al. 2006)
Dioxyde de silicium Des particules de quelques centaines de nm de taille utilisées comme additif alimentaire, sous forme nano utilisé dans les emballages alimentaires	58±16 nm, 1.08±0.25µm poudre de zinc	Des souris testées ont montré des symptômes graves de léthargie, vomissements et diarrhées. Des doses de nano particules produisirent des réactions encore plus graves, tuèrent 2 souris lors de la première semaine et causèrent des lésions encore plus importantes des reins et de l'anémie. Lésions plus graves du foie avec un traitement de microparticules (in vivo; Wang et al. 2006)
	50nm, 70nm, 0.2µm, 0.5 µm, 1 µm, 5 µm	Absorption de particules de 50nm et 70nm dans le noyau de la cellule où elles provoquent des formations de protéines aberrantes et empêchèrent la croissance de la cellule. Causèrent le début d'une pathologie semblable aux désordres neurodégénératifs (in vitro; Chen and von Mücke 2005)

L'Institute of Food Science and Technology a exprimé ses inquiétudes vis-à-vis des nano produits fabriqués qui sont déjà utilisés dans les emballages alimentaires, bien que leur taux de migration et les risques d'exposition en découlant demeurent totalement inconnus (IFST 2006). Le Central Science Laboratory du Royaume-Uni et des scientifiques danois de l'Institut National de l'Alimentation étudient actuellement le potentiel de migration des nanomatériaux des emballages dans les aliments. Les premiers résultats des études britanniques indiquent que les taux de migration des nanomatériaux testés (composites de nano-argiles et nano-argent) semblent être minimales (communication personnelle du Dr Qasim Chaudhry).

Cependant, tant que ces études ne sont pas terminées, on se trouve en l'absence de toute étude quantifiant les taux de migration des nanomatériaux des emballages vers les aliments. Les nano-emballages alimentaires anti-bactériens et les technologies de nano-détecteurs ont été présentés comme des produits améliorant la sécurité alimentaire grâce à leur capacité de détecter ou d'éliminer des contaminations bactériennes ou par des toxines. Pourtant il est possible que des nanomatériaux migrent de l'emballage anti-bactérien vers les aliments. Cela paraît d'autant plus inévitable lorsque les emballages ou nano-films sont conçus pour relâcher des produits anti-bactériens sur la surface des aliments lorsqu'ils détectent une augmentation de la présence de bactéries, de champignons ou de moisissures. Des anti-bactériens puissants comme le nano-argent peuvent interférer aussi avec des bactéries utiles dans nos corps et l'environnement et en fin de compte provoquer le développement de bactéries plus dangereuses et virulentes.

De Jong et son équipe ont aussi signalé que des techniques en apparence prometteuses, comme les indicateurs de toxines obtenus par nanotechnologie et contenus dans les emballages, font face à des difficultés pratiques non négligeables. Etant donné que les toxines ne sont pas réparties de façon homogène dans l'aliment, un détecteur pour être 100% efficace, devra non seulement être extrêmement sensible à de petites quantités mais aussi capable de sonder des portions importantes des aliments ou des boissons.

Pour l'organisation citoyenne, ETC Group, même si les emballages avec des nano-détecteurs ou des nano-codes barres pour traçabilité pourraient paraître utiles, le vrai problème se situe dans l'agriculture industrielle et les systèmes alimentaires qui provoquent les contaminations. Pour eux, « *les chaînes toujours plus rapides d'abattage pour la viande, la mécanisation accrue, le nombre toujours plus bas d'ouvriers mal payés, les inspecteurs de moins en moins nombreux, les entreprises et les gouvernements qui ne rendent de compte à personne, les distances toujours plus grandes entre producteurs, transformateurs et consommateurs* » sont en fin de compte les vrais facteurs responsables de l'augmentation des contaminations alimentaires.

Pourquoi le nano-argent est-il un anti-bactérien plus puissant que l'argent à grandes particules ?

Sous forme d'ions, l'argent est à la fois un anti-bactérien puissant et aussi toxique pour des cellules en cultures. Comme les nano particules d'argent ont plus de surface que de grandes particules d'argent, le nano-argent est plus réactif chimiquement et plus facilement ionisé que l'argent sous forme de particules plus grandes. C'est pour cela que le nano-argent a des effets anti-bactériens et toxiques plus importants, cela étant dû en partie au fait qu'il s'ionise plus facilement. Il existe des preuves cependant que le nano-argent peut avoir une action anti-bactérienne efficace à des concentrations beaucoup plus petites que celle de l'argent ionique. (Lok et al. 2006). Cela laisse entendre que les propriétés antibactériennes et toxiques du nano-argent ne se laissent pas seulement expliquer par sa composition chimique et la production d'ions.

Les caractéristiques physiques des nano-matériaux - comme leur taille, leur forme et les propriétés de surface - peuvent exercer un effet toxique qui va bien au-delà de celui dû à leur composition chimique (Brunner et al. 2006). Hussain et son équipe, par exemple, ont démontré que des nano particules d'argent produisent des variétés d'oxygènes réactifs (ROS) et que cela peut provoquer un stress entraînant une toxicité oxydante. La production de variétés d'oxygènes réactifs, des molécules hautement réactives y compris les radicaux libres, peuvent interférer dans le métabolisme cellulaire, provoquer des inflammations, endommager les protéines, les membranes et l'ADN (Nel et al. 2006).

Les effets antibactériens et toxiques puissants du nano-argent pourraient rapidement devenir un problème, vu l'engouement pour l'utilisation de nano-argent dans des matériaux en contact avec les aliments ou autres désinfectants, ce qui exposera encore plus les humains et les écosystèmes à ce produit.

Il est important d'éviter toute contamination alimentaire, mais il faut aussi garder en mémoire le fait que pour une personne souffrant d'intoxication alimentaire, il y en a 50 qui souffrent de maladies résultant de mauvais régimes alimentaires et d'une consommation insuffisante de fruits et légumes. Si les produits transformés et présentés dans des nano-emballages sont commercialisés avec succès comme étant plus sûr que de manger des aliments frais, non emballés et que la consommation de produits frais diminue encore, le résultat net pourrait être un état sanitaire général se dégradant encore.

Les risques sanitaires associés aux nano-agrotoxiques

Il existe un lien entre l'exposition aux pesticides conventionnels et augmentation importante des cancers, ainsi que des problèmes de reproduction, dans les populations de travailleurs agricoles et de leurs familles (Davidson et Knapp 2007 ; Hanazato 2001 ; Relyea et Hovermann 2006). Les reformulations par nanotechnologies des agrotoxiques (ou produits phytosanitaires) ont pour but de les rendre encore plus réactifs et plus bioactifs que leurs homologues conventionnels. Le risque est réel que les nano-pesticides, bien qu'utilisés en moindre quantité présentent plus de risques pour l'environnement et la santé que les pesticides conventionnels qu'ils remplacent.