



LA FERME ATOMISÉE

L'impact des nanotechnologies sur l'agriculture et l'alimentation

Novembre 2004

etc group

LA FERME ATOMISÉE

L'impact des nanotechnologies
sur l'agriculture et l'alimentation



Novembre 2004

ETC Group remercie le Centre de recherches pour le développement international, Canada, de l'appui financier accordé à sa recherche sur les technologies à l'échelle nanométrique. Nous voulons aussi exprimer notre reconnaissance pour l'appui accordé par SwedBio (Suède), le CS Fund (États-Unis), l'Educational Foundation of America (États-Unis), la JMG Foundation (Royaume-Uni) et le Lillian Goldman Charitable Trust (États-Unis). Les points de vue exprimés dans ce document sont cependant ceux d'ETC Group.

Illustrations originales de Reymond Pagé

Traduction par Michèle Bélanger



On peut télécharger sans frais les publications d'ETC Group,
y compris *La ferme atomisée*, à partir du site Web :

www.etcgroup.org

Pour obtenir une copie papier, communiquer avec :

etc@etcgroup.org

ETC Group

431 Gilmour Street, 2^{ème} étage

Ottawa, ON, Canada K2P 0R5

Téléphone : 613-241-2267

Télécopie : 613-241-2506

LA FERME ATOMISÉE

L'impact des nanotechnologies sur l'agriculture et l'alimentation

TABLE DES MATIÈRES

Sommaire	1
Introduction – Un tour d’horizon	3
I. Nanoagriculture – La ferme atomisée	8
Des semences miniatures	8
Les nanocides – Des pesticides en capsules	11
L’agriculture de précision – De la poussière intelligente au champ intelligent	15
Commerce à rabais – Les nanoproduits	22
La ferme des nanomaux	29
L’agriculture de demain – Nanobiotechnologie et biologie synthétique	36
II. Aliments et nutrition – La nano qu’on nous fait avaler	39
Des aliments issus de la fabrication moléculaire	40
Emballage	41
Étiquetage et contrôle	44
Les nanoaliments – Qu’est-ce qu’on nous mijote ?	45
Transport adapté	48
III. Recommandations	53
Notes	57
Annexe 1: Géants de l’industrie des aliments et boissons – RD en nanotechnologie	63
Annexe 2 : Nanobrevets en Alimentation et Emballages Alimentaires	64

SOMMAIRE

L'enjeu : Les nanotechnologies, soit la manipulation de la matière à l'échelle des atomes et des molécules (le nanomètre [nm] fait un milliardième de mètre), convergent à toute vitesse vers la biotechnologie et les technologies de l'information pour modifier de manière radicale les systèmes alimentaires et agricoles. D'ici vingt ans, l'impact de la nanoconvergence sur l'agriculture et l'alimentation dépassera celui de la mécanisation agricole ou de la Révolution verte. Les technologies convergentes pourraient donner un second souffle aux industries mal aimées de l'agrochimie et de l'agrobiotechnologie, et soulever un débat encore plus vif – cette fois sur les aliments *atomiquement modifiés*. Aucun État n'a adopté de régime réglementaire pour régir l'échelle nanométrique ou l'impact sociétal de l'infiniment petit. On trouve déjà sur les tablettes des aliments et produits alimentaires contenant des nanoadditifs – indétectables, non étiquetés et non réglementés. On trouve aussi sur le marché plusieurs nanopréparations de pesticides – déjà disséminées dans l'environnement.

L'impact : Du champ à l'assiette, les nanotechnologies vont modifier non seulement les *procédés* utilisés à chacune des étapes de la chaîne alimentaire, mais aussi les *acteurs* concernés. L'enjeu : le marché de détail d'une valeur de 3 billions \$, le gagne-pain de quelque 2,6 milliards d'agriculteurs et le bien-être de tous ceux et celles d'entre nous qui ont besoin des agriculteurs pour manger chaque jour. Les nanotechnologies exercent un impact profond sur les agriculteurs (comme sur les pêcheurs

et les éleveurs) et sur la souveraineté alimentaire, partout dans le monde. Et l'agriculture pourrait servir de banc d'essai pour des technologies éventuellement utilisées pour la surveillance, le contrôle social et la guerre biologique.

Les politiques : Le débat sur les aliments GM (génétiquement modifiés) n'a pas su aborder comme il se doit les préoccupations relatives à l'environnement et à la santé – et il a aussi lamentablement négligé les questions relatives à la propriété et au contrôle. Quel sera l'impact sur la société et qui en profitera? Ce sont là des enjeux vitaux. Puisque les nanotechnologies englobent toute matière, les nanobrevets peuvent exercer un impact profond sur tout le système alimentaire et l'ensemble des secteurs économiques. La biologie synthétique et les nanomatériaux transformeront de manière radicale la demande de matières premières par les entreprises de transformation. Les nanoproduits sont arrivés sur le marché – et arrivent encore – sans réglementation ni débat social. La fusion de la nanotechnologie et de la biotechnologie a des effets inconnus sur la santé, la biodiversité et l'environnement. Les États et les faiseurs d'opinion affichent huit à dix ans de retard sur les besoins de la société en matière d'information, de débat public et de politiques.

Recommandations : En autorisant la commercialisation de nanoproduits sans débat public ni contrôle réglementaire, l'État, l'agro-industrie et les institutions scientifiques ont déjà compromis les avantages potentiels des technologies à l'échelle

Aucun État n'a adopté de régime réglementaire pour régir l'échelle nanométrique ou l'impact sociétal de l'infiniment petit.

On trouve déjà sur les tablettes des aliments et produits alimentaires contenant des nanoadditifs – indétectables, non étiquetés et non réglementés. On trouve aussi sur le marché plusieurs nanopréparations de pesticides – déjà disséminées dans l'environnement.

Les gouvernements et l'industrie auraient tort de restreindre les discussions à des aréopages d'experts ou de limiter les études aux seuls effets sur la santé et la sécurité. Le débat sur les nanotechnologies doit être plus large et englober les enjeux sociaux et éthiques.

nanométrique. D'abord et avant tout, la société – y compris les agriculteurs, les organisations de la société civile et les mouvements sociaux – doit entamer un large débat sur les nanotechnologies et leurs nombreuses répercussions sur l'économie, la santé et l'environnement. Conformément au principe de précaution, il faut retirer du marché l'ensemble des aliments de consommation humaine et animale, et toutes les boissons (y compris les suppléments alimentaires) contenant des nanoparticules artificielles jusqu'à la mise en place de régimes réglementaires qui tiennent compte des caractéristiques particulières de ces matériaux, et jusqu'à ce que l'on ait démontré l'innocuité de ces produits. De même, il faut interdire la dissémination dans l'environnement des nanopréparations d'intrants agricoles tels que les pesticides, engrais et produits de traitement du sol jusqu'à ce qu'un nouveau régime réglementaire spécialement conçu pour examiner ces produits ait établi leur innocuité.

Les États doivent aussi adopter immédiatement un moratoire sur les essais en laboratoire et la dissémination dans l'environnement des matériaux issus de la biologie synthétique jusqu'à ce que la société ait pu analyser en profondeur leur impact socioéconomique et leurs effets sur santé et l'environnement. Les gouvernements et l'industrie auraient tort de restreindre les discussions à des aréopages d'experts ou de limiter les études aux seuls effets sur la santé et la sécurité. Le débat sur les nanotechnologies doit être plus large et englober les enjeux sociaux et éthiques.

À l'échelle intergouvernementale, les comités permanents et commissions sur l'agriculture, les pêcheries, la forêt et les ressources génétiques de la FAO (Organisation pour l'alimentation et l'agriculture) doivent surveiller les nouvelles technologies et en débattre – en s'appuyant sur la participation et les réactions des organisations de paysans et de petits agriculteurs. Le Comité des produits de la FAO doit étudier dès maintenant les répercussions socioéconomiques sur les agriculteurs, la sécurité alimentaire et les États nationaux. Le Comité des Nations unies/de la FAO sur la sécurité alimentaire mondiale doit discuter des implications relatives à l'agroterrorisme et à la souveraineté alimentaire. De plus, la Convention des Nations unies sur la diversité biologique doit revoir l'impact potentiel de la nanobiotechnologie, notamment sur la biosécurité. D'autres appareils de l'ONU, tels que la Conférence des Nations unies sur le commerce et le développement (CNUCED) et l'Organisation internationale du travail (OIT) doivent se joindre à la FAO pour étudier l'impact mondial des nanotechnologies sur la propriété et le contrôle de l'approvisionnement alimentaire, sur les produits de base et sur le travail. La communauté internationale doit mettre sur pied un appareil chargé de suivre, d'évaluer et de contrôler les nouvelles technologies et les produits qui en sont issus par le truchement d'une Convention internationale pour l'évaluation des nouvelles technologies (CIENT).

INTRODUCTION – UN TOUR D’HORIZON

Lors d’une entrevue l’an dernier, le lauréat du prix Nobel et entrepreneur en nanotechnologie Richard Smalley s’est dit frustré que l’on se préoccupe autant (trop, selon lui) de la sécurité des nanotechnologies : « On ne vous dit tout même pas de manger des trucs nanos! » s’écrie-t-il devant *The New Statesman*.² Oups! À peu près en même temps que le Dr Smalley rassurait les consommateurs, le nano-marché de l’alimentation et de la transformation alimentaire était estimé à plus de 2 milliards \$ et on prévoyait qu’il dépasse les 20 milliards \$ d’ici 2010.³ Comme le Dr Smalley, la plupart d’entre nous ignorent qu’on trouve déjà des nanoadditifs sur les tablettes du supermarché. Mais on ne peut reprocher au Dr Smalley de n’avoir pas remarqué les ingrédients nanos dans son jus d’orange – après tout, on ne les voit pas : les produits ne sont pas étiquetés et ils ne font l’objet d’aucune réglementation particulière.

En janvier 2003, ETC Group a publié *The Big Down*. C’était la première fois que la société civile tentait de décrire et d’analyser la convergence technologique à l’échelle nano. Notre rapport a eu un effet bœuf – il a catalysé le débat public et attiré l’attention des médias du monde entier, incitant plusieurs pays et établissements scientifiques à entreprendre des études et revoir leurs propres projets de recherche d’un œil plus critique. *La ferme atomisée* étudie pour la première fois l’application des nanotechnologies à l’alimentation et l’agriculture. Ces technologies peuvent révolutionner – et consolider – le pouvoir sur l’approvisionnement alimentaire mondial. Ce rapport est le premier

d’une série que lancera ETC Group en deux ans sur l’impact éventuel des nanotechnologies sur divers secteurs économiques et sociaux.

La ferme atomisée n’est pas un réquisitoire contre le changement technologique ni un appel au statu quo. C’est plutôt un appel à la réalité : d’importants changements technologiques sont déjà en cours et ils vont affecter l’ensemble de la société. Certaines retombées sont faciles à prévoir, d’autres le sont moins. Par ailleurs, ce rapport n’accepte pas le postulat selon lequel il est inévitable que l’alimentation et l’agriculture subissent une *transformation extrême* en raison de la nanotechnologie. Notre rapport étudie les technologies de pointe et leurs implications pour l’avenir. *La ferme atomisée* se veut le point de départ d’un débat de société beaucoup plus vaste, qui doit englober les organisations d’agriculteurs, les mouvements sociaux, la société civile et les pays du Sud. Jusqu’ici, la discussion s’est limitée en grande partie aux scientifiques, aux investisseurs et aux cadres de l’industrie, avant tout dans les pays de l’OCDE.

ETC Group reconnaît que dans un monde juste et éclairé, les nanotechnologies peuvent offrir des avancées favorables aux pauvres (les possibilités sont prometteuses en ce qui a trait à l’énergie, l’eau potable et la production propre; cela est moins évident dans les secteurs de l’alimentation et l’agriculture). L’histoire démontre que l’introduction de technologies majeures entraîne des bouleversements économiques fulgurants. Les populations pauvres et marginalisées sont rarement

« On ne vous dit tout de même pas de manger des trucs nanos! »

– Richard Smalley, lauréat du prix Nobel et entrepreneur en nanotechnologie

Si la tendance se maintient, les technologies à l’échelle atomique vont accentuer la concentration du pouvoir économique dans les mains des grosses multinationales. Comment les pauvres pourraient-ils bénéficier d’une technologie dont le contrôle leur échappe totalement?

À l'échelle nano, la matière quitte l'univers de la chimie et de la physique classiques pour entrer dans celui de la mécanique quantique, qui dote les matériaux traditionnels de propriétés inédites – s'accompagnant de risques inédits pour la santé et l'environnement.

capables d'anticiper les changements économiques abrupts ou de s'y adapter. Parmi les plus vulnérables, se trouvent les petits agriculteurs et les travailleurs agricoles des pays en développement qui produisent les matières premières destinées à l'exportation. Si la tendance se maintient, les technologies à l'échelle atomique vont accentuer la concentration du pouvoir économique dans les mains des grosses multinationales. Comment les pauvres pourraient-ils bénéficier d'une technologie dont le contrôle leur échappe totalement?

La demande mondiale de matériaux, instruments et dispositifs nanos était estimée à 7,6 milliards \$ en 2003,⁴ avec des prévisions de 1 billion \$ d'ici 2011.⁵ Les nanotechnologies ont obtenu la part du lion des budgets de recherche des principales économies et grandes sociétés dans le monde. Dans les industries de pointe – informatique, médecine et défense – les nanoapplications font miroiter les possibilités inouïes des technologies de l'infiniment petit. À l'opposé, les applications nanos dans les secteurs de l'alimentation et l'agriculture commencent tout juste à attirer l'attention et on a

souvent tendance à les ignorer, même dans les cercles de nano-initiés. (Le *Nanotech Report 2004*, une étude de marché de 650 pages en deux volumes, produite par Lux Research, mentionne à peine les applications dans ces deux domaines.) À la fin 2004, il est encore trop tôt pour prédire toutes les répercussions des nanotechnologies sur l'agriculture et l'alimentation, mais on sait déjà qu'elles seront profondes.

Les technologies convergentes, ou le BANG

La ferme atomisée tente de cerner les nanotechnologies habilitantes qui permettent à l'industrie de reformuler nos systèmes agricoles et alimentaires. Nous nous sommes concentrés sur les technologies qui se convertissent à l'échelle nano et convergent vers la biotechnologie, les technologies de l'information et les sciences cognitives. (Voir l'encadré sur les technologies convergentes.) En Europe et aux États-Unis, des chercheurs et des décideurs politiques ont flairé le potentiel de transformation des technologies convergentes. Plus que l'apport de chacune de ces technologies, c'est leur caractère synergique qui modifiera fondamentalement l'alimentation et l'agriculture telles que nous les connaissons.

La taille a de l'importance :

À l'échelle nano, la matière quitte l'univers de la chimie et de la physique classiques pour entrer dans celui de la mécanique quantique, qui dote les matériaux traditionnels de caractéristiques inédites – s'accompagnant de risques inédits pour la santé et l'environnement.



Les technologies convergentes : NBIC, CTEKS ou BANG

En Europe et aux É.-U., des chercheurs ont flairé tout le potentiel des technologies convergentes : elles peuvent transformer l'ensemble des secteurs de l'économie, en même temps que notre conception de l'être humain.

Le gouvernement des É.-U. utilise la formule **NBIC** (intégration des nanotechnologies, de la biotechnologie, des technologies de l'information et des sciences cognitives) pour exprimer la convergence – à ses yeux, la maîtrise de l'univers nanométrique permettra de maîtriser un jour toute la nature.⁶ Selon cette vision du monde, il existe à l'échelle moléculaire une *unité de matériau*, ce qui suppose que toute matière – *vivante ou inerte* – se confond et s'intègre totalement. La NBIC veut « améliorer la performance humaine », tant sur le plan physique que cognitif (sur le champ de bataille, dans le champ de blé et au travail).

La Commission européenne vient de produire un rapport sur les technologies convergentes préparé par un groupe d'experts de haut niveau, *Prévoir la nouvelle vague technologique*.⁷ Se dissociant de l'objectif étatsunien d'« améliorer la performance humaine », le Groupe a souligné l'importance d'une « approche typiquement européenne des TC »,⁸ proposant l'approche **CTEKS** (*Converging Technologies for the European Knowledge Society – Technologies convergentes pour la société européenne du savoir*). On envisage divers programmes de recherche sur des problèmes précis, tels que les « TC pour le traitement du langage naturel » ou les « TC pour le traitement de l'obésité ».⁹ Le Groupe note que si l'application des TC permet de « régler des problèmes de société, profiter aux individus et générer de la richesse », elle présente également « des risques pour la culture et la tradition, l'intégrité et l'autonomie des personnes, voire la stabilité politique et économique ».¹⁰

ETC Group qualifie la convergence de **BANG**, un acronyme formé à partir des mots *bits, atomes, neurones* et *gènes*, les unités de base des technologies de transformation. L'unité de fonctionnement des sciences de l'information est le **Bit**; les nanotechnologies manipulent les **Atomes**; les sciences cognitives traitent des **Neurones** et la biotechnologie exploite le **Gène**. Toutes ces technologies s'additionnent pour faire B.A.N.G. Au début 2003, ETC Group a sonné l'alarme : le BANG affectera en profondeur l'économie nationale, le commerce et les moyens de subsistance – tant dans les pays du Nord que dans ceux du Sud.¹¹ Le BANG permettra à une technocratie convergente d'affermir son emprise sur la santé et la sécurité – et même sur la diversité culturelle et génétique.

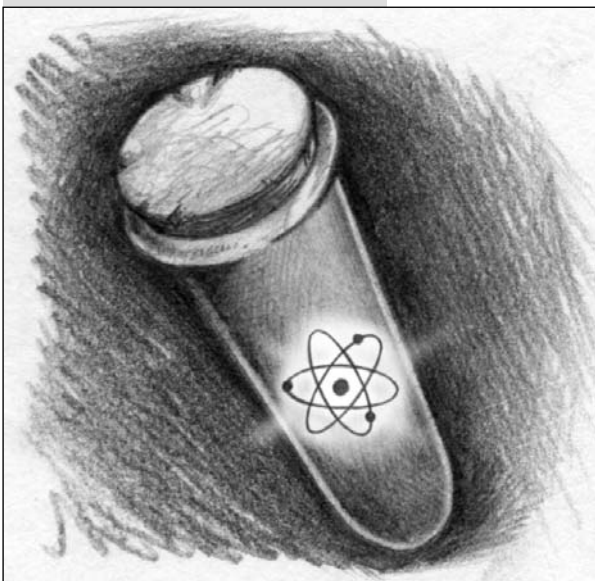
En 2003, ETC Group a sonné l'alarme : le BANG affectera en profondeur l'économie nationale, le commerce et les moyens de subsistance – tant dans les pays du Nord que dans ceux du Sud.

Le BANG permettra à une technocratie convergente d'affermir son emprise sur la santé et la sécurité – et même sur la diversité culturelle et génétique.

Par simple réduction de la taille (à moins de 100 nm), sans le moindre changement de substance, on peut modifier les propriétés d'un matériau de façon spectaculaire.

Par simple réduction de la taille (à moins de 100 nm), sans le moindre changement de substance, on peut modifier les propriétés d'un matériau de façon spectaculaire. Certaines caractéristiques – conductivité, réactivité, solidité, couleur et surtout, toxicité – peuvent changer de façon imprévisible. Par exemple, une substance rouge quand elle mesure un mètre de largeur peut devenir verte si on la réduit à quelques nanomètres; sous forme de graphite, le carbone est tendre et malléable – à l'échelle nano, il peut devenir aussi solide que l'acier. Un seul gramme d'un matériau catalyseur formé de particules de dix

nanomètres est environ 100 fois plus réactif que la même quantité de ce matériau formé de particules d'un micromètre (le micron est 1000 fois plus gros que le nanomètre). Sauf en ce qui a trait aux graves implications des changements quantiques sur le plan de la toxicité, il n'est pas toujours nécessaire ni utile d'établir une distinction entre les applications à l'échelle nano et à l'échelle micro : on ne recherche pas forcément l'échelle nano. Dans certains cas, l'échelle micro est adéquate et dans d'autres, les dispositifs, matériaux et particules font tout aussi bien l'affaire à l'une ou l'autre échelle. Et les deux peuvent avoir un effet perturbateur.



Empêcher les nanoparticules de s'introduire dans l'environnement

En 2002, ETC Group a appelé à un moratoire sur la dissémination des nanoparticules artificielles jusqu'à l'adoption de protocoles de laboratoire pour protéger les travailleurs et d'une réglementation pour protéger les consommateurs. (L'espérance de vie des docteurs en chimie qui travaillent dans les laboratoires des É.-U. est déjà inférieure de dix ans à celle de leurs collègues oeuvrant dans d'autres milieux.¹² Cela ne justifie-t-il pas l'adoption immédiate de mesures de précaution?) On accumule de plus en plus de preuves justifiant l'adoption d'un moratoire.¹³

L'utilisation de nanoparticules en agriculture soulève des préoccupations sur le plan de la santé et de l'environnement : les nanoparticules ne présenteraient pas la même toxicité que le même composé à une taille plus grande. En 2003, la Dre Vyvyan Howard, fondatrice et chef de la rédaction du *Journal of Nanotoxicology*, a étudié la littérature scientifique sur la toxicité des nanoparticules pour ETC Group. Elle conclut que la taille réduite des nanoparticules semble augmenter leur toxicité, précisant que les nanoparticules peuvent se déplacer plus facilement dans l'organisme et traverser des membranes protectrices – peau, barrière hémato-encéphalique, voire placenta.

Une étude publiée en juillet 2004 par la Dre Eva Oberdörster établit que l'exposition d'achigans à grande bouche à des quantités minimales de fullerènes (nanoparticules formées de 60 atomes de carbone) avait rapidement entraîné des lésions cérébrales et le décès de la moitié des puces d'eau partageant l'habitat des poissons.¹⁴ D'autres études démontrent que les nanoparticules peuvent se déplacer dans le sol de manière fortuite et entraîner d'autres substances dans leur sillage. Vu le peu de connaissances sur le sujet, plusieurs experts recommandent de réduire ou d'interdire la dissémination de nanoparticules artificielles dans l'environnement :

« Il faut limiter la dissémination de nanoparticules en raison de leurs effets négatifs potentiels sur la santé humaine et l'environnement. »

– Nanotechnologie et réglementation dans le cadre du principe de précaution. Rapport final de la Commission de l'industrie, de la recherche et de l'énergie du Parlement européen, février 2004¹⁵

« On ne sait à peu près rien des effets des nanoparticules sur les espèces autres que l'être humain, ni de leur comportement dans l'air, l'eau ou le sol, pas plus que de leur accumulation éventuelle dans les chaînes alimentaires. Tant que nous ne connaissons pas mieux leur impact sur l'environnement, nous tenons à éviter le plus possible la dissémination de nanoparticules et de nanotubes dans l'environnement. À titre de précaution, nous recommandons de manière plus précise que les usines et les laboratoires de recherche considèrent la fabrication de nanoparticules et de nanotubes comme une source de déchets dangereux, et qu'il soit interdit d'utiliser des nanoparticules dans les applications environnementales telles que la restauration de la nappe phréatique. » – Royal Society et Royal Academy of Engineering, *Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and uncertainties*, juillet 2004

« Il faut limiter la dissémination de nanoparticules en raison de leurs effets négatifs potentiels sur la santé humaine et l'environnement. »

– Nanotechnologie et réglementation dans le cadre du principe de précaution. Rapport final de la Commission de l'industrie, de la recherche et de l'énergie du Parlement européen, février 2004

« Les ressources génétiques des cultures comprennent deux éléments complémentaires et interdépendants – les gènes des cultures et la connaissance des espèces, y compris le savoir transmis par les agriculteurs d'une génération à l'autre. Au même titre que les gènes des cultures, le savoir autochtone fait partie du système d'évolution d'une espèce végétale, déterminant les traits qu'il convient de perpétuer. »

– Stephen B. Brush, Farmers' Bounty, 2004

I. NANOAGRICULTURE – LA FERME ATOMISÉE

En décembre 2002, le département de l'Agriculture des É.-U. (USDA) a rédigé la toute première *feuille de route* relative à l'application des nanotechnologies à l'agriculture et à l'alimentation.¹⁶ Un vaste éventail de décisionnaires, de représentants d'universités et de scientifiques du secteur privé se sont réunis à l'Université Cornell (New York, É.-U.) pour discuter de la façon dont on pouvait reformuler l'agriculture grâce aux nanotechnologies. La recherche nano du USDA est subventionnée par la National Nanotechnology Initiative (NNI) du gouvernement des É.-U. depuis 2003. Mais le USDA reçoit une part assez mince des fonds – 5 millions \$ de nanosubventions pour l'année financière 2005, soit à peine 0,5 % du budget total de la NNI.

Selon la nouvelle nanovision, il faut rendre l'agriculture plus uniforme, l'automatiser davantage, l'industrialiser et la réduire à des fonctions simples. La ferme moléculaire de demain sera un vaste centre de bioproduction géré et contrôlé par ordinateur portable, où les aliments seront fabriqués à partir de substances sur mesure capables de diffuser les nutriments de manière efficace dans l'organisme.

Grâce à la nanobiotechnologie, l'agriculture pourra produire plus de matières premières destinées à la fabrication industrielle. Par ailleurs, les produits agricoles tropicaux tels que le caoutchouc, le cacao, le café et le coton – ainsi que les petits agriculteurs qui les cultivent – seront désormais anachroniques et inutiles dans la nouvelle nanoéconomie de la matière flexible, qui permet d'ajuster les propriétés des nanoparticules

industrielles pour créer des substituts moins chers et plus *intelligents*.

De même que l'agriculture GM a engendré une nouvelle concentration des entreprises tout au long de la chaîne alimentaire, la nanotechnologie exclusive – déployée de la semence à l'estomac, du génome jusqu'au gosier – renforcera la mainmise de l'agroalimentaire sur l'alimentation et l'agriculture mondiales. Et on se vantera haut et fort que tout cela vise à nourrir ceux qui ont faim, préserver l'environnement et élargir la gamme de produits offerts au consommateur.

Cela fait deux générations que des scientifiques manipulent l'alimentation et l'agriculture à l'échelle moléculaire. L'agronanotechnologie franchit un pas de plus en reliant toutes les étapes de la chaîne alimentaire industrielle. Avec les nouveaux nanoprocédés de mélange et de *domestication* des gènes, les plantes génétiquement modifiées sont remplacées par des plantes atomiquement modifiées. On peut fabriquer des pesticides qui ciblent les ravageurs de manière plus précise, et des arômes artificiels et nutriments naturels plus agréables au goût. On peut désormais concrétiser le rêve d'une agriculture industrielle automatisée à commande centrale, grâce aux capteurs moléculaires, aux systèmes de distribution moléculaires et à la main-d'œuvre à bon marché.

Des semences miniatures

Ce n'est pas la première fois qu'on réorganise les processus naturels. Pour accroître le rendement des cultures pendant la Révolution verte, les scientifiques du Nord ont conçu

des plantes semi-naines absorbant mieux les engrais chimiques, et augmenté du coup les besoins en pesticides. Pour accentuer la dépendance, l'industrie de la biotechnologie agricole a conçu des plants résistant aux produits chimiques toxiques. L'industrie agrobiotechnologique avait le choix : concevoir de nouveaux produits chimiques en fonction des besoins des plantes ou manipuler les plantes en fonction des besoins des herbicides industriels. Elle a choisi de préserver les herbicides. L'industrie des nanotechnologies emboîte maintenant le pas – en quête de nouveaux moyens de soumettre la vie et la matière aux besoins de l'industrie.

Les agriculteurs réalisent la plus grande partie de la sélection des végétaux – ils choisissent les semences, les conservent et les sélectionnent. Ils sont les premiers gardiens de la diversité génétique des plantes, la base de l'approvisionnement alimentaire mondial d'aujourd'hui et de demain. Nul besoin de doctorat en biochimie ou de microscope à force atomique pour ce processus qui existe depuis des milliers d'années. Si les agriculteurs ne contrôlent pas les technologies qui les affectent et ne peuvent pas non plus participer à l'établissement des priorités de recherche, on peut d'ores et déjà prédire que la nanoscience aura pour effet de consolider le pouvoir des grandes entreprises et de marginaliser les droits des agriculteurs.

Thérapie génique pour les plantes

Les chercheurs développent de nouveaux procédés à base de nanoparticules pour introduire de l'ADN étranger dans les cellules. L'Oak Ridge National Laboratory est ce laboratoire du département de l'Énergie des É.-U. qui a joué un rôle

déterminant dans la production d'uranium enrichi, dans le cadre du Projet Manhattan. Les chercheurs de ce laboratoire ont découvert un nanoprocédé permettant d'injecter de l'ADN dans des millions de cellules à la fois. Sur une puce de silicium, on cultive des millions de nanofibres de carbone auxquelles sont fixés des brins d'ADN artificiel.¹⁷ Puis on projette les cellules vivantes sur les fibres qui les percent, injectant ainsi l'ADN dans les cellules :

« C'est comme lancer des balles de baseball sur un lit à clous... On lance vraiment les cellules sur les fibres puis on les écrase contre la puce pour bien enfoncer les fibres dans la cellule. » – Timothy McKnight, ingénieur, OakRidge Laboratory.¹⁸

Après l'injection, l'ADN artificiel produit des protéines et des traits inédits. Oak Ridge s'est joint à l'Institute of Paper Science and Technology dans le cadre d'un projet où cette technique servira à la manipulation génétique du pin blanc, première source de bois de pulpe dans l'industrie papetière des É.-U.

Contrairement aux méthodes actuelles de génie génétique, le procédé mis au point par les scientifiques d'Oak Ridge ne transmet pas les traits modifiés aux générations subséquentes – en principe, l'ADN reste fixé aux nanofibres de carbone et ne s'intègre pas au génome des plantes. Il serait donc possible de reprogrammer les cellules juste une fois. Selon les scientifiques d'Oak Ridge, cela rassure ceux qui redoutent les flux génétiques associés aux plantes génétiquement modifiées, dont les gènes sont transférés entre organismes étrangers, ou prélevés et réarrangés au sein d'une même espèce. Si ce nouveau procédé permet aux chercheurs d'activer à

Si les agriculteurs ne contrôlent pas les technologies qui les affectent et ne peuvent pas non plus participer à l'établissement des priorités de recherche, on peut d'ores et déjà prédire que la nanoscience aura pour effet de consolider le pouvoir des grandes entreprises et de marginaliser les droits des agriculteurs.

« À nos yeux, le riz modifié de manière atomique n'est pas plus sûr, ni plus socialement acceptable que le riz génétiquement modifié. C'est encore une approche de pointe qui ne tient pas compte de nos besoins et qui peut causer beaucoup de tort aux petits producteurs de riz thaïlandais. »²⁶

– Witoon Lianchamroon, Biodiversity Action Thailand (BIOTHAI)

volonté des traits aussi fondamentaux que la fertilité, l'industrie des semences utilisera-t-elle ces minuscules *Terminator* pour empêcher les agriculteurs de conserver et réutiliser les semences prélevées à la récolte, les obligeant ainsi à faire appel au marché commercial des semences chaque année pour obtenir le trait génétique activé dont ils ont besoin?

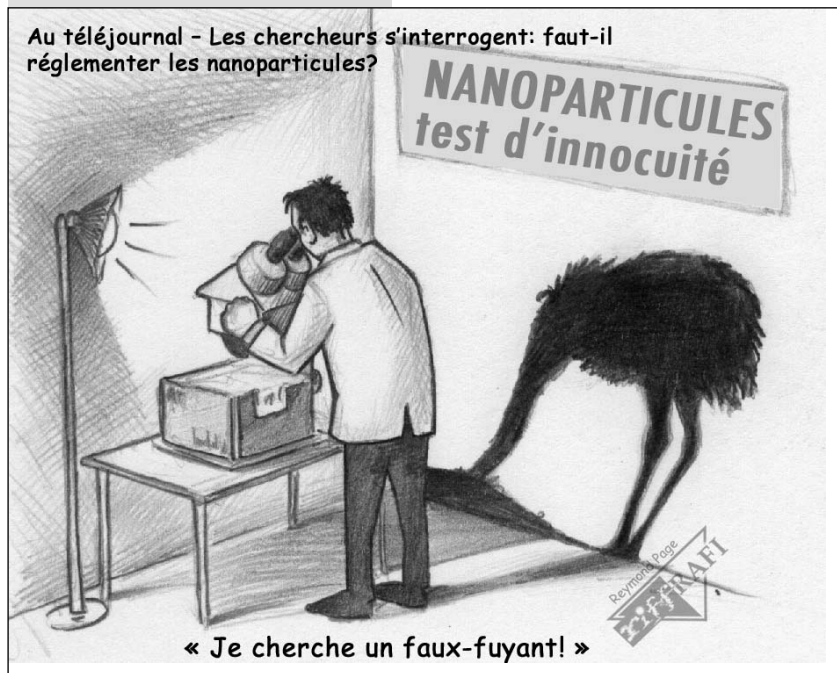
Cela soulève plusieurs questions sur le plan de la sécurité : qu'arrive-t-il si les nanofibres sont ingérées par la faune ou par l'être humain dans l'alimentation? Quel est l'impact écologique de la pénétration de nanofibres dans les cellules d'autres organismes qui expriment ensuite de nouvelles protéines? Où vont les nanofibres après la décomposition de la plante dans le sol? On a comparé les nanofibres de carbone aux fibres d'amiante en raison de leur forme similaire. Les premières études toxicologiques menées sur certaines nanofibres de carbone démontrent une inflammation des cellules. Une étude réalisée par la NASA démontre que l'inflammation des poumons est pire que dans les cas de silicose.¹⁹

Cela n'empêche pas le lauréat du prix Nobel Richard Smalley, président de Carbon Nanotechnologies inc., de balayer les inquiétudes du revers de la main : « Nous sommes certains que l'étude [toxicologique] ne révélera aucun risque pour la santé, mais elle se poursuit. »²⁰

Semences atomiquement

modifiées : En mars 2004, ETC Group a fait état d'un projet de recherche thaïlandais visant à modifier atomiquement les caractéristiques de variétés locales de riz.²¹ Dans le cadre d'un projet de trois ans mené par le laboratoire de physique nucléaire de l'Université de Chiang Mai, des chercheurs ont percé la membrane d'une cellule de riz pour y insérer un atome d'azote en vue de stimuler la modification de l'ADN du riz.²² Jusqu'ici, les chercheurs ont pu modifier la couleur d'une variété locale de riz, qui a viré du violet au vert. Dans un entretien téléphonique, le Dr Thirapat Vilaithong, directeur du Fast Neutron Research Facility de Chiang Mai, a déclaré à Biodiversity Action Thailand (BIOTHAI) que l'équipe ciblait maintenant le célèbre riz au jasmin thaïlandais²³ : on veut développer des variétés de riz au jasmin cultivables à l'année, aux tiges plus courtes et au grain d'une plus belle couleur.²⁴

Selon le Dr Vilaithong, l'un des mérites de cette technique – à l'instar du projet d'Oak Ridge – est d'éviter le recours à la litigieuse modification génétique. « Nous pouvons au moins éviter cela », ajoute le Dr Vilaithong.²⁵ Les organisations de la société civile thaïlandaise ne sont pas convaincues de cet avantage.



Les nanocides – Des pesticides en capsules

On trouve déjà sur le marché des pesticides contenant des nano-ingrédients actifs et de nombreux géants de l'agrochimie mondiale font de la RD en vue de développer des nanopréparations de pesticides (voir ci-dessous *Les géants de la génétique : RD sur l'encapsulation*), dont les sociétés mentionnées ci-dessous.

L'Allemande **BASF**, au quatrième rang mondial en agrochimie (et au premier dans les produits chimiques), reconnaît l'utilité potentielle des nanotechnologies pour la préparation de pesticides.²⁷ BASF fait de la recherche fondamentale et a demandé un brevet sur une préparation de pesticide – « Nanoparticules comprenant un agent de protection des récoltes » – contenant un ingrédient actif dont les particules mesurent idéalement 10 à 150 nm.²⁸ Les nanopréparations offrent des avantages : le pesticide se dissout mieux dans l'eau (ce qui simplifie l'application), il est plus stable et le produit chimique (herbicide, insecticide ou fongicide) a une efficacité optimale.

Bayer Crop Science d'Allemagne, deuxième producteur de pesticides au monde, a demandé un brevet pour des produits agrochimiques sous forme d'émulsion dont l'ingrédient actif se compose de nanogouttelettes de 10 à 400 nm.²⁹ (L'émulsion est une suspension de gouttelettes d'un liquide finement dispersé dans un autre liquide – la mayonnaise et le lait sont des émulsions.) La société présente l'invention comme une « microémulsion concentrée » offrant l'avantage d'un dosage réduit, « une action plus rapide et plus fiable » et « une action étendue à long terme ».

Établie en Suisse, **Syngenta** est la plus grosse firme d'agrochimie et la troisième semencière au monde. Syngenta vend déjà des préparations de pesticides sous forme d'émulsion de nanogouttelettes. À l'instar de Bayer Crop Science, Syngenta présente ses produits comme des microémulsions concentrées. Ainsi, le Primo MAXX Plant Growth Regulator de Syngenta (conçu pour ralentir la croissance du gazon sur les terrains de golf) et son fongicide Banner MAXX (pour traiter le gazon des terrains de golf) sont des pesticides à base d'huile auxquels on a ajouté de l'eau, puis qu'on a chauffés pour produire une émulsion. Syngenta affirme qu'en raison de la taille des particules (environ 100 nm ou 0,1 micron), le produit n'obstrue pas le filtre du pulvérisateur et se dissout si complètement qu'il ne produit aucun dépôt au fond de la cuve.³⁰ Le fongicide Banner MAXX ne se sépare pas pendant un an, alors que les fongicides contenant des ingrédients en plus grosses particules doivent être agités aux deux heures pour éviter les problèmes d'application ou le blocage du pulvérisateur.³¹ Syngenta affirme que les particules de cette préparation sont 250 fois plus petites que celles des pesticides courants. Au dire de la société, le produit est absorbé par le système de la plante et n'est pas emporté par la pluie ou l'arrosage.³²

ETC Group n'insinue pas que les géants de la génétique violent la réglementation relative aux pesticides. Les pesticides contenant des nano-ingrédients actifs ne font l'objet d'aucun examen réglementaire particulier aux É.-U. selon l'Environmental Protection Agency (EPA) : une nouvelle préparation de pesticide sous forme de nanoémulsion n'est

De nombreux géants de l'agrochimie font de la RD sur les nouvelles nanopréparations dans le domaine des pesticides.

Selon l'EPA (US Environmental Protection Agency), un nouveau pesticide sous forme de nanoémulsion ne serait pas soumis à un nouvel examen réglementaire, puisqu'il ne constitue pas « un nouvel élément chimique, une nouvelle forme chimique, ni une utilisation sensiblement nouvelle ».³³

pas soumise à un nouvel examen réglementaire, puisqu'elle ne constitue pas « un nouvel élément chimique, une nouvelle forme chimique, ni une utilisation sensiblement nouvelle ».³³ Barbara Karnat, de l'Office of Research & Development de l'EPA, déclare que « le pesticide exerce la même action chimique quand il est contenu dans une émulsion ».³⁴ Elle ajoute : « La solution de pesticide ne démontre aucune différence inhérente à l'incorporation de ces gouttelettes et les produits chimiques qui la composent ne présentent eux-mêmes aucune propriété nouvelle. »³⁵ Fait étonnant, l'EPA ne considère pas que les *nanoémulsions* de Syngenta sont à base de nanomatériaux, ni qu'elles relèvent de la nanotechnologie. La réaction de l'EPA illustre bien la confusion qui entoure les nanotechnologies. D'une part, l'industrie agrochimique exploite la taille pour modifier les caractéristiques et l'action de ses pesticides, et de l'autre, l'EPA conclut que la taille n'a pas d'importance dans le cas des nanoémulsions.

Les géants de la génétique – RD sur l'encapsulation : Une version plus perfectionnée des nanopréparations de pesticides est l'encapsulation – on glisse l'ingrédient actif dans une minuscule *enveloppe* ou *coquille*. Cela fait des décennies qu'on trouve sur le marché des ingrédients alimentaires et des produits agrochimiques microencapsulés. L'industrie affirme que les nouvelles préparations de pesticides en microcapsules sont à l'origine de changements révolutionnaires, dont la faculté de contrôler les conditions de libération de l'ingrédient actif (voir l'encadré ci-dessous). Du point de vue de l'industrie, la microencapsulation des pesticides permet aussi de prolonger la période d'application des brevets,

d'augmenter la solubilité et de réduire le contact des travailleurs agricoles avec les ingrédients actifs.³⁶ Elle peut aussi offrir des avantages sur le plan environnemental, comme la réduction du taux de ruissellement.

Établie aux États-Unis, **Monsanto** est la première productrice mondiale de semences GM, fabriquant aussi le fameux herbicide RoundUp. La société vend déjà plusieurs pesticides microencapsulés. En 1998, Monsanto a convenu avec Flamel Nanotechnologies de développer Agsome, des nanocapsules de RoundUp, censées offrir une efficacité chimique supérieure à celle de la formule classique. Au dire d'un porte-parole de Flamel, Monsanto aurait plutôt voulu obtenir pour RoundUp un nouveau brevet qui s'applique pendant 17 à 20 ans de plus que l'ancien.³⁷ L'entente entre Monsanto et Flamel a été rompue deux ans plus tard pour des motifs que l'on ignore.

Syngenta s'autoproclame *chef de file mondial* de la microencapsulation, affirmant qu'on lui doit l'application des microcapsules au domaine des pesticides.³⁸ Dans chaque litre de Zeon, la préparation microencapsulée brevetée par Syngenta, on retrouve environ 50 billions de capsules à *libération instantanée* qui éclatent au contact d'une feuille de la plante.³⁹ Comme les capsules se fixent solidement aux feuilles, elles ne sont pas balayées par la pluie. Syngenta applique aux semences un produit microencapsulé du même genre pour contrôler les organismes qui nuisent à la germination des semis.

Syngenta a développé un autre insecticide encapsulé pour combattre les parasites domestiques – blattes, fourmis et coccinelles – ainsi qu'un

traitement à long terme appliqué sur les moustiquaires. Les scientifiques de Syngenta mènent des recherches sur des capsules à libération contrôlée, activées seulement dans certaines conditions précises. Syngenta détient ainsi un brevet sur une microcapsule *éventreuse* qui éclate

dans un milieu alcalin comme l'estomac de certains insectes.⁴⁰

Syngenta se réjouit : « La microencapsulation produit des effets si novateurs et si étonnants à partir d'ingrédients connus – les ventes augmentent aussi vite que si nous avions inventé un tout nouvel ingrédient ».

Contrôle en capsule

La nanotechnologie permet à l'industrie de manipuler les propriétés de la coquille externe d'une capsule pour contrôler la libération de la substance à administrer. La *libération contrôlée* est une caractéristique précieuse en médecine, puisqu'elle permet l'absorption plus lente des médicaments, à un endroit déterminé de l'organisme ou en fonction d'un déclencheur externe. Applicables dans l'ensemble de la chaîne alimentaire (pesticides, vaccins, médecine vétérinaire et aliments améliorés sur le plan nutritif), ces nano et micropréparations sont développées et brevetées par les géants de l'alimentation et de l'agroalimentaire tels que Monsanto, Syngenta et Kraft.

Voici un aperçu des divers types de nano et microcapsules.

- **Libération lente** – la capsule libère sa charge lentement sur une période prolongée (administration lente d'une substance dans l'organisme, par exemple)⁴⁵
- **Libération instantanée** – la coquille de la capsule éclate au contact d'une surface (au contact du pesticide sur une feuille, par exemple)⁴⁶
- **Libération spécifique** – la coquille est conçue pour éclater quand un récepteur moléculaire se lie à un produit chimique donné (par exemple, au contact d'une tumeur ou d'une protéine donnée dans l'organisme)⁴⁷
- **Libération par contact humide** – la coquille éclate et libère sa charge au contact de l'eau (par exemple, dans le sol)⁴⁸
- **Libération par la chaleur** – la coquille libère les ingrédients seulement quand le milieu atteint une température donnée⁴⁹
- **Libération par le pH** – la nanocapsule s'ouvre seulement dans un milieu acide ou alcalin précis (par exemple, dans l'estomac ou à l'intérieur d'une cellule)⁵⁰
- **Libération par ultrason** – la capsule se rompt en présence d'une fréquence d'ultrason externe⁵¹
- **Libération magnétique** – une particule magnétique dans la capsule fait éclater la coquille quand on l'expose à un champ magnétique⁵²
- **Nanocapsule à ADN** – la capsule introduit un brin court d'ADN étranger dans une cellule vivante; une fois libéré, celui-ci pirate le mécanisme de la cellule qui exprime une protéine donnée (utilisé dans les vaccins à ADN)⁵³

La nanotechnologie permet aux sociétés de manipuler les propriétés de la coquille externe d'une capsule pour contrôler la libération de la substance à administrer.

Il est clair que l'intérêt des nanopréparations de pesticides tient aux nouvelles propriétés du produit reformulé : concentration maximale de l'ingrédient actif et activité biologique plus durable.

dient! »⁴¹ Autrement dit, avec les préparations de pesticides encapsulés, on en a plus pour son argent : la taille réduite maximise l'efficacité du pesticide et la capsule peut être conçue pour libérer l'ingrédient actif dans tout un éventail de conditions. Syngenta mène également des recherches sur la nanoencapsulation des pesticides.⁴²

ETC Group n'est pas en mesure d'évaluer si les nanogouttelettes de pesticides – encapsulées ou sous forme de nanoémulsion – démontrent des changements de propriétés similaires aux *effets quantiques* des nanoparticules artificielles. Il est clair que l'intérêt des nanopréparations tient à l'action nouvelle du produit reformulé : effet optimal de l'ingrédient actif et activité biologique plus durable. L'encapsulation permet aussi de contrôler la libération du produit actif.

Dans les autres secteurs où on les utilise, comme les cosmétiques, les nanoémulsions semblent un mécanisme très efficace pour faire pénétrer les huiles dans la peau.⁴³ Elles ont aussi des propriétés antibactériennes en raison de l'effet mécanique des gouttelettes qui se fondent aux parois cellulaires des bactéries et les font éclater. On peut utiliser les nanoémulsions pour endommager les cellules sanguines et celles des spermatozoïdes (pour la contraception).⁴⁴ Dans le cas des nanoémulsions de pesticides, on ignore si les propriétés antibactériennes s'appliquent et on ne semble pas avoir évalué leurs effets sur le sol et les autres microbes.

Évaluation des nano et microcapsules : Selon l'industrie, l'encapsulation présente les avantages suivants :⁵⁴

- Activité biologique plus durable

- Meilleur contrôle des organismes nuisibles dans le sol

- Réduction de l'exposition des travailleurs

- Sécurité accrue grâce à l'élimination des solvants inflammables

- Réduction des dommages aux cultures

- Réduction des pertes de pesticide par évaporation

- Réduction des effets sur les autres espèces

- Réduction de l'impact environnemental

- Empêche la dégradation des ingrédients actifs par le soleil

- Rend les pesticides concentrés sécuritaires et faciles à utiliser pour les producteurs

Préoccupations soulevées par l'encapsulation

- La durée accrue de l'activité biologique se traduit par une exposition accrue de l'environnement et des travailleurs; les insectes utiles et la vie du sol risquent d'être affectés.

- Les nanopesticides peuvent-ils être absorbés par les plantes et s'introduire dans la chaîne alimentaire?

- Il est plus facile de pulvériser les pesticides sous forme de poudre ou de gouttelettes – ils peuvent donc être inhalés et menacer davantage la santé et la sécurité des gens.

- Les pesticides sous forme de nanocapsules ou de nanogouttelettes peuvent-ils démontrer une toxicité différente, entrer dans l'organisme ou affecter la faune par de nouvelles voies d'exposition, par exemple, par la peau (voir l'encadré à la page 7, *Empêcher les nanoparticules de s'introduire dans l'environnement*).

- On peut les utiliser comme vecteurs d'armes biologiques.
- Quels sont les autres déclencheurs externes qui peuvent affecter la libération de l'ingrédient actif (par exemple, liant chimique, chaleur ou destruction de la capsule)?
- À peu près de la taille du pollen, les microcapsules peuvent contaminer les abeilles ou être rapportées à la ruche et incorporées au miel. En raison de leur taille, on considère « les insecticides en microcapsules plus toxiques pour les abeilles que toute autre préparation existante. »⁵⁵ Les nanocapsules seront-elles encore plus létales?
- On ignore la façon dont les nanocapsules *non explosées* vont réagir dans l'intestin humain une fois ingérées avec des aliments.

Les effets de l'encapsulation sur le nanobioarmement

Les nano et microcapsules constituent un vecteur idéal pour les armes chimiques ou biologiques, parce qu'elles peuvent transporter des substances destinées à blesser l'être humain aussi facilement qu'elles transportent des substances destinées à tuer des mauvaises herbes ou des insectes. En raison de leur taille réduite, les nanocapsules à ADN entrent dans l'organisme à l'insu du système immunitaire et le mécanisme même des cellules pourrait ensuite les activer pour produire des composés toxiques. La biodisponibilité et la stabilité accrues des substances nanoencapsulées dans l'environnement comportent des avantages pour les géants de la génétique. Mais ces mêmes caractéristiques peuvent en faire des vecteurs d'armes biologiques extrêmement puissants. À cause de la biodisponibilité accrue, il suffit d'utiliser une quantité infime du produit chimique.

Quand elles sont programmées en fonction de déclencheurs externes, ultrasons ou fréquences magnétiques, les capsules s'activent à distance – on peut imaginer une foule de scénarios inquiétants. Les géants de l'agrochimie et des semences peuvent-ils activer des déclencheurs à distance pour ruiner la récolte si l'agriculteur contrefait le brevet ou déroge aux méthodes prescrites? Que se passe-t-il si un agresseur étranger ou un groupe terroriste glisse des nanocapsules contenant un composé puissant dans la réserve d'eau d'une région donnée?

Selon le Sunshine Project, le *Groupe de l'Australie* (un groupe formé de 24 pays industrialisés) a proposé dernièrement d'ajouter les technologies de microencapsulation à la liste des technologies qu'il est interdit d'exporter dans les pays *peu fiables* de peur qu'elles soient utilisées comme armes biologiques.⁵⁷ Les documents obtenus par le Sunshine Project démontrent également que l'armée des É.-U. a versé à l'Université du New Hampshire en 1999-2000 des fonds pour développer des microcapsules contenant des produits chimiques corrosifs et anesthésiques (induisant la perte de conscience). On décrit la façon dont les microcapsules peuvent être lancées dans une foule, corroder l'équipement de protection et éclater ensuite au contact de l'humidité de la peau.⁵⁸

L'agriculture de précision – De la poussière intelligente au champ intelligent

L'agriculture robotisée grâce aux nanocapteurs

L'agriculture de précision, aussi qualifiée de *gestion contextuelle*, fait appel à une foule de nouvelles technologies de l'information pour gérer une exploitation agricole

« L'expression ultime de cette technologie serait la création d'un vecteur qui encapsule des armes biologiques à base d'ADN et les protège, pour pénétrer ensuite dans des cellules cibles et libérer sa charge à l'insu du système immunitaire. Un agent aussi furtif donnerait du fil à retordre aux méthodes actuelles de riposte médicale. »

– Analystes de la Defense Intelligence Agency, gouvernement des É.-U., Washington, DC.⁵⁶

Les géants de l'agrochimie et des semences pourraient-ils activer des déclencheurs à distance pour ruiner la récolte si l'agriculteur contrefait le brevet ou déroge aux méthodes prescrites?

commerciale à vaste échelle. Elle englobe, entre autres, les ordinateurs personnels, les systèmes de positionnement par satellite, les systèmes d'information géographique, le guidage automatisé des machines, les dispositifs de télédétection et les télécommunications.

« Il est cinq heures du matin. Un fermier du Midwest sirote son café, assis à l'ordinateur. Des images satellites en temps réel signalent un problème de mauvaises herbes dans un champ situé au nord-ouest de la ferme. À 6 h 30, le fermier se rend à l'endroit précis où il doit appliquer une dose précise d'herbicides. »
– Communiqué de presse de l'Illinois Laboratory for Agricultural Remote Sensing⁵⁹

L'agriculture de précision repose sur la détection intensive des conditions de l'environnement et l'informatisation de ces données pour prendre des décisions éclairées et contrôler les machines agricoles. Les technologies de l'agriculture de précision relient les systèmes de positionnement par satellite (GPS) aux images satellites des champs pour détecter à distance les ravageurs ou la sécheresse, et ajuster automatiquement le niveau d'irrigation ou l'application de pesticides au fur et à mesure que le tracteur se déplace dans le champ. Des capteurs de rendement reliés aux moissonneuses-batteuses mesurent la quantité de céréales et leur niveau d'humidité au fur et à mesure de leur récolte dans les diverses sections du champ. Ils produisent ensuite des modèles informatiques qui établiront la pertinence d'appliquer des intrants et le moment opportun pour le faire. L'agriculture de précision fait miroiter la possibilité d'accroître le rendement des cultures et de réduire le coût des intrants en rationalisant

la gestion agricole, ce qui réduit le gaspillage et les coûts de main-d'œuvre. Elle permet aussi d'employer des conducteurs de machines moins qualifiés et donc moins bien payés, puisqu'elle repose sur des systèmes censés simplifier la prise de décision et la centraliser. Dans les années à venir, l'agriculture de précision prendra la forme d'une agriculture robotisée – les machines agricoles seront conçues pour fonctionner de manière autonome et s'adapter automatiquement aux nouvelles données.

S'ils fonctionnent comme prévu, les omniprésents capteurs sans fil (voir ci-dessous) deviendront un instrument essentiel de la pleine réalisation de ce modèle agricole. Disséminés dans les champs, des réseaux de capteurs pourront fournir des données détaillées sur les conditions des cultures et du sol, et relayer l'information à distance en temps réel – le fermier (ou le cadre de l'agroalimentaire) n'aura même plus besoin de se salir les bottes pour inspecter ses terres. Comme plusieurs des éléments à surveiller – présence de virus ou niveau d'éléments nutritifs dans le sol – opèrent à l'échelle nano et parce qu'on peut nanomodifier des surfaces pour les lier de façon sélective à certaines protéines biologiques, les capteurs nanosensibles se révéleront des alliés particulièrement importants dans la réussite de l'agriculture de précision.

Au premier rang des adeptes des champs intelligents truffés de capteurs sans fil, on trouve le département de l'Agriculture des É.-U. (USDA). Dans un rapport dont la version initiale s'intitulait *Little Brother Technology*,⁶¹ l'organisme souligne que la mise au point des capteurs est l'une des priorités absolues en recherche.⁶² Le USDA développe et soutient un véritable

Système de champ intelligent qui détecte, repère, rapporte et applique de manière automatique l'eau, les engrais et les pesticides requis – au-delà de la collecte d'information, il exécute automatiquement les interventions requises.

L'industrie expérimente déjà les réseaux de capteurs sans fil en agriculture. Intel, fabricant de puces aux caractéristiques nanos,⁶³ a installé des nœuds de capteurs miniatures (les *motes*) dans un vignoble de l'Oregon, aux É.-U.⁶⁴ Capables d'évaluer la température une fois la minute, ces capteurs constituent le premier stade vers l'automatisation complète du vignoble. Intel a aussi embauché des ethnographes et des experts en sciences sociales pour étudier le comportement des travailleurs en vue d'améliorer le système. Intel veut faire de *l'informatique proactive* avec ses réseaux sans fil – des systèmes omniprésents capables d'anticiper les besoins de l'agriculteur et d'intervenir de leur propre chef. Dans un projet similaire, le cabinet multinational d'experts-conseils Accenture s'est allié au fabricant de capteurs miniatures Millennial Net en vue d'installer un réseau de capteurs dans un vignoble de la Californie.⁶⁵

Crossbow Technologies affirme que ses capteurs miniatures peuvent être utilisés à la ferme pour gérer l'irrigation, détecter le gel et sonner l'alerte, appliquer les pesticides, déterminer le moment de la récolte, procéder à la bioremédiation et au confinement, évaluer la qualité de l'eau et la contrôler.

Poussière intelligente et intelligence ambiante : L'idée que des milliers de minuscules capteurs puissent être disséminés comme autant d'yeux, d'oreilles et de nez invisibles dans les champs de culture et les champs de bataille semble relever de la science-fiction. Il y a dix ans, Kris Pister, professeur de robotique à l'Université de la Californie-Berkeley a pourtant obtenu des fonds de la Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) des É.-U. pour mettre au point des capteurs autonomes pas plus gros qu'une tête d'allumette. Faisant appel à la gravure sur silicium, ces capteurs miniatures (*poussière intelligente*) seraient dotés d'un bloc d'alimentation intégré, de fonctions de calcul et de détection, et pourraient communiquer avec les capteurs des alentours. Chacun des capteurs miniatures pourrait donc s'auto-organiser en réseau informatique sur mesure, capable de transmettre les données par communication sans fil (communication radio). L'intérêt premier de la DARVA était de déployer des réseaux de poussière intelligente en terrain

Le USDA développe et soutient un véritable Système de champ intelligent qui détecte, repère, rapporte et applique de manière automatique l'eau, les engrais et les pesticides requis – au-delà de la collecte d'information, il exécute automatiquement les interventions requises.



« L'amélioration de la technologie des capteurs va révolutionner la façon de mesurer le processus de croissance, le milieu ambiant, le fonctionnement des machines et bien d'autres éléments. On automatisera les processus qui exigeaient l'intervention humaine. Il ne sera plus nécessaire d'activer la manette de commande du tracteur – le capteur sentira l'environnement et fera automatiquement l'ajustement requis. Des compétences réduites pourraient suffire à certaines tâches. »

– Mike Boehlje, Purdue University's Center for Food and Agricultural Business⁶⁰

ennemi pour obtenir des renseignements en temps réel — mouvement des troupes, armes chimiques et autres conditions – sur le champ de bataille sans mettre en danger la vie des soldats. Toutefois, à l'instar de cet autre projet novateur de la DARPA qu'est Internet, on a vite constaté les possibilités infinies de ces minuscules systèmes de surveillance dans la vie civile : contrôle de la consommation d'énergie dans les immeubles à bureaux, traçabilité des produits, contrôle des données relatives à l'environnement, etc.

De nos jours, des grandes sociétés comme Intel et Hitachi se livrent à d'intenses recherches sur les micro et nanocapteurs sans fil mis au point par Kris Pister; ces capteurs sont dans la mire de tous les laboratoires de la Défense nationale des É.-U. et ils passionnent des secteurs aussi divers que la médecine, l'énergie et les communications. Qualifiée de « prochain engouement » par *The Economist*, *Red Herring* et *Technology Review*, l'omniprésence des capteurs sans fil, aussi bien dans les vêtements que dans le paysage, pourrait modifier radicalement notre relation quotidienne avec les biens, les services, l'environnement et l'État. On veut développer ce que les chercheurs appellent une *intelligence ambiante* – des environnements intelligents qui tirent parti des capteurs et de l'intelligence artificielle pour prédire les besoins des gens et y répondre : des bureaux qui ajustent l'éclairage et le chauffage selon l'heure de la journée, des vêtements qui changent de couleur ou qui sont plus ou moins chauds selon la température. Nous connaissons tous un exemple d'intelligence ambiante : les coussins de sécurité gonflables des nouvelles voitures, qui *anticipent* la collision et se déploient pour absorber le choc.

Les grains de poussière de Kris Pister sont encore loin de l'échelle nano – ils sont à peu près de la taille d'une pièce de monnaie – mais des entreprises commerciales ont déjà obtenu une licence d'exploitation du brevet. En 2003, Pister a créé sa propre entreprise de *poussière intelligente*, Dust inc. Il nous laisse entrevoir ce que pourrait être la vie quotidienne dans une entreprise *intelligente*.⁶⁷

• « En 2010, un grain de poussière sur chacun de vos ongles transmettra en continu le mouvement de vos doigts à l'ordinateur pour manifester votre intention : taper, pointer, cliquer, mimer, sculpter ou jouer de la guitare virtuelle.

• En 2010, on ne verra plus les bébés mourir du SMSN (syndrome de mort subite du nourrisson), s'étouffer ou se noyer, puisqu'un signal alertera les parents. Dans quelle société vivrons-nous quand la piscine du voisin (sic) vous appellera sur cellulaire pour vous dire que Johnny est en train de se noyer et que vous êtes l'adulte le plus proche?

• En 2020, il n'y aura plus de maladies imprévues. Des capteurs implantés en permanence surveilleront tous les grands systèmes circulatoires du corps humain; ils vous avertiront de l'imminence d'une grippe, ou vous sauveront la vie en détectant un cancer assez tôt pour l'éliminer totalement par chirurgie. »

Nanocapteurs : Avec l'avancement des technologies, la taille des microcapteurs rétrécit aussi vite que leurs capacités augmentent. Des analystes du marché prédisent que le marché des capteurs sans fil vaudra 7 milliards \$ d'ici 2010.⁶⁸

Les nanocapteurs faits de nanotubes de carbone ou de nanoporte-à-faux (dispositifs de contrepoids) sont

assez petits pour saisir et mesurer des protéines, voire des molécules. On peut concevoir des nanoparticules ou des nanosurfaces capables de déclencher un signal électrique ou chimique en présence d'un contaminant tel qu'une bactérie.

D'autres capteurs peuvent déclencher une réaction enzymatique; d'autres encore utilisent des nanomolécules ramifiées (les *dendrimères*) comme sondes pour se fixer à des produits chimiques ou protéines donnés.

La fine pointe de la poussière intelligente

Fournisseurs actuels : Crossbow Technologies, Dust inc., Ember, Millennial Net

Bientôt : Motorola, Intel, Philips

Taille actuelle : les capteurs de Crossbow sont actuellement de la taille d'une capsule de bouteille. Le P.D.G. de la société, Mike Horton, s'attend à ce qu'ils ne soient pas plus gros qu'un cachet d'aspirine – voire un grain de riz – d'ici quelques années.⁷⁰

Prix actuel : Le matériel de Crossbow (kit de capteur miniature – processeur, radio, pile et capteur) coûte 40 \$ à 150 \$, selon la quantité commandée. Crossbow prévoit que les prix vont bientôt chuter sous la barre des 10 \$.⁷¹

Utilisations actuelles : on a saupoudré de la poussière intelligente sur des :

- **Pétroliers :** le *Loch Rannoch*, pétrolier de 885 pieds exploité par BP dans l'Atlantique Nord, est équipé de 160 capteurs sans fil qui détectent les problèmes techniques à partir des vibrations du moteur. L'entreprise envisage aussi d'utiliser les réseaux de poussière intelligente dans plus de 40 autres projets d'ici trois ans.
- **Habitats fauniques :** à Great Duck Island, au large de la côte du Maine (É.-U.), un réseau de 150 capteurs sans fil surveille les microclimats dans les zones de nidification et aux alentours. On veut développer un kit de surveillance des habitats qui permettrait aux chercheurs de surveiller discrètement la faune et les habitats fauniques avec un minimum de perturbations.⁷²
- **Ponts :** à San Francisco (É.-U.), on a installé un réseau de capteurs pour mesurer les vibrations et les tensions structurales sur le Golden Gate, à titre d'entretien préventif.⁷³
- **Séquoias :** Dans Sonoma County, en Californie (É.-U.), des chercheurs ont fixé 120 capteurs sans fil à des séquoias pour la télésurveillance du microclimat environnant à partir de Berkeley, plus de 70 km plus loin.⁷⁴
- **Supermarchés :** Honeywell teste l'utilisation de capteurs pour la surveillance de supermarchés au Minnesota (É.-U.)⁷⁵
- **Ports :** Le département de la Sécurité intérieure des É.-U. envisage l'utilisation expérimentale de capteurs pour surveiller les ports et les conteneurs en Floride.⁷⁶

« ... Imaginez des terres agricoles intelligentes où chaque... plante dispose de son capteur... qui dispense exactement la bonne dose d'engrais, l'arrosage optimal. Imaginez l'impact dans les régions du monde où l'agriculture est problématique. »
– Pat Gelsinger, principal responsable de la technologie chez Intel⁶⁶

Au bout du compte, les capteurs vont accroître la productivité, faire chuter les prix agricoles, réduire la main-d'œuvre et assurer un petit avantage de plus sur le marché mondial aux gros exploitants agricoles.

Va-t-on incorporer de la poussière intelligente aux semences brevetées pour contrôler les pratiques des agriculteurs et s'assurer qu'ils respectent les brevets?

Bien entendu, une grande partie des fonds gouvernementaux consacrés à la recherche sur les nanocapteurs est réservée aux travaux sur la détection d'infimes quantités d'agents de la guerre biologique – anthrax ou toxines chimiques – afin de contrer les attaques terroristes sur le territoire des É.-U. ou prévenir les soldats d'un risque éventuel sur les champs de bataille. Ainsi, le projet *SensorNet* veut déployer d'un bout à l'autre des É.-U. un réseau de capteurs qui fera office de système d'alerte rapide en cas de menace chimique, biologique, radiologique, nucléaire ou explosive.⁶⁹ *SensorNet* intégrera des nanocapteurs, des microcapteurs et des capteurs classiques dans un seul réseau national, couplé à un réseau existant de 30 000 mâts de téléphonie mobile, pour former l'ossature d'un réseau national de surveillance d'une ampleur sans pareille. L'Oak Ridge National Laboratory a déjà amorcé les tests sur le terrain. Les laboratoires de la Défense des É.-U., tels que Los Alamos et Sandia, se chargent eux-mêmes de la mise au point des nanocapteurs.

Évaluation des capteurs : la technologie des capteurs peut profiter aux exploitations à grande échelle hautement industrialisées qui utilisent déjà les tracteurs GPS et autres techniques de l'agriculture de précision. Au bout du compte, les capteurs vont accroître la productivité, faire chuter les prix agricoles, réduire la main-d'œuvre et assurer un petit avantage de plus sur le marché mondial aux gros exploitants agricoles.

Ce ne sont pas les petits agriculteurs qui vont profiter des omniprésents réseaux de capteurs, mais bien les gros négociants en grains comme Cargill et ADM, qui sont en mesure de collecter les données de plusieurs

milliers de fermes en vue d'établir ce qui sera cultivé, par qui et à quel prix, en fonction de la demande du marché et des cours mondiaux. Les capteurs vont marginaliser les atouts les plus précieux de l'agriculteur : sa profonde connaissance du site, du climat, des sols, des semences, des récoltes et de la culture de son propre milieu. À l'ère du contrôle sans fil, tous ces éléments seront réduits à des données brutes en temps réel, interprétées et soupesées à distance. Pourquoi embaucher des agriculteurs intelligents quand des capteurs et des ordinateurs peuvent faire fonctionner à leur place des *fermes intelligentes*?

La production de pointe dans des exploitations à grande échelle se traduit généralement par une chute des prix, réduisant à la misère ceux qui ne font pas partie de l'industrie agroalimentaire, notamment les petits agriculteurs et les paysans autochtones. Quand les capteurs ne sont pas plus gros que des semences, il devient urgent d'adopter des mesures de protection sur le plan juridique, celui de la sécurité et de l'environnement, pour prévenir les excès de la poussière intelligente, y compris la surveillance des autres types de cultures. Va-t-on incorporer de la poussière intelligente aux semences brevetées pour contrôler les pratiques des agriculteurs et s'assurer qu'ils respectent les brevets? Va-t-on truffier les semences ou d'autres intrants commerciaux de capteurs bon marché pour permettre aux entreprises de recueillir de l'information, à l'instar des entreprises Internet qui collectent des données confidentielles en infectant les ordinateurs avec des moniteurs et des marqueurs invisibles (les *logiciels-espions* et les *mouchards*)?

On pourrait aussi détourner les réseaux de capteurs agricoles pour les utiliser comme systèmes de surveillance civile sous prétexte de *sécurité nationale*. Les réseaux de capteurs sans fil – en agriculture ou ailleurs – menacent d’étouffer la dissidence et d’envahir la vie privée. Michael Mehta, sociologue de l’Université de la Saskatchewan (Canada), pense qu’un milieu truffé de capteurs risque de détruire le concept même de vie privée – en menant au *nanopanopticisme* (omnivision), un phénomène où les citoyens ont l’impression d’être soumis à une surveillance constante.⁷⁷ Dans un rapport récent, la Royal Society britannique a elle aussi

noté les problèmes posés par les capteurs en ce qui a trait au respect de la vie privée :

« ... Ces dispositifs [les capteurs] peuvent être utilisés de manière contraire au respect de la vie privée des groupes ou des personnes, par la surveillance clandestine, la collecte et la diffusion de renseignements personnels (sur la santé ou le profil génétique) sans consentement adéquat. Ils permettent aussi de concentrer l’information aux mains de ceux qui ont les moyens de développer de tels réseaux et de les contrôler. » – Royal Society, “Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties”⁷⁸

« ... Ces dispositifs [les capteurs] peuvent être utilisés de manière contraire au respect de la vie privée des groupes ou des personnes, par la surveillance clandestine, la collecte et la diffusion de renseignements personnels (sur la santé ou le profil génétique) sans consentement adéquat. Ils permettent aussi de concentrer l’information aux mains de ceux qui ont les moyens de développer de tels réseaux et de les contrôler. » – Royal Society, “Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties”⁷⁸

La disparition des agriculteurs

Au début du 19^e siècle, l’agriculture était indissociable de la main-d’œuvre agricole. Quand les manœuvres agricoles sont revenus en Angleterre à la fin des guerres napoléoniennes, ils ont vite constaté que l’agriculture était entrée dans une nouvelle ère industrielle. Pendant leur absence, la main-d’œuvre avait été remplacée par des batteuses qui ont fait chuter les salaires et mis les travailleurs au chômage pendant les mois d’hiver. Dans le cadre des *Swing Riots* (du nom du légendaire meneur, le capitaine Swing – en référence au balancement de la faux) de 1830 à 1832, on a détruit et brûlé des centaines de batteuses dans le sud de l’Angleterre, dans un premier – et très fugitif – mouvement de résistance populaire contre l’industrialisation de l’agriculture. Depuis, par vagues technologiques successives – des tracteurs et moissonneuses-batteuses aux herbicides et aux cultures GM –, l’agriculture se rapproche graduellement d’un idéal industriel où la production agricole évoque de plus en plus le modèle de l’usine, avec des travailleurs agricoles sous-payés, sous-employés et réduits au chômage.

Vingt ans avant les *Swing Riots*, les artisans tisserands britanniques se sont battus de la même manière pour protester contre l’abaissement de leurs conditions de travail – ils ont détruit les machines nouvellement introduites. Les métiers à tisser et les tricoteuses à vapeur permettaient à des travailleurs moins qualifiés de fabriquer des produits de piètre qualité, ce qui a fait chuter les prix en même temps que les salaires. Les tisserands de coton, fileurs, tondeurs et tricoteurs *technoclastes* – mieux connus sous le nom de Luddites – s’élevaient contre les salaires misérables, le coût élevé de la nourriture et l’atteinte à leur honneur de maîtres artisans.⁷⁹

« Tout comme la révolution industrielle britannique a acculé à la faillite les artisans fileurs et tisserands, la nanotechnologie va faire déraiper une foule d'entreprises et d'industries multimilliardaires. »

– Lux Research inc.,
The Nanotech Report 2004

Commerce à rabais – Les nanoproducts

La roulette des produits : Dans un rapport sur la nanotechnologie publié en 2004, Lux Research inc. note que la nanotechnologie risque d'entraîner « des bouleversements et des modifications radicales dans les chaînes d'approvisionnement et les chaînes de valeur ». ⁸⁰ Dans le secteur agricole, les enjeux sont énormes : l'ensemble des produits agricoles et le gagne-pain de plus de 1,3 milliard de personnes – la moitié de la population active dans le monde. Les principaux produits de base du Sud sont particulièrement vulnérables : fibres naturelles comme le coton et le jute; boissons tropicales (cacao, thé, café); huiles tropicales (de coco, de palme, etc.); produits agricoles divers (épices exotiques, noix de cajou, vanille). Selon la CNUCED, la valeur des exportations de produits agricoles non transformés des pays en développement atteint 26,7 milliards \$. ⁸¹ Les produits et les marchés du Nord seront eux aussi affectés, au fur et à mesure que les matériaux classiques seront supplantés par des matériaux issus des nanotechnologies. Toutefois, ce sont généralement les pays les plus pauvres et ceux qui dépendent le plus des exportations agricoles qui seront les principales victimes des bouleversements découlant de l'adoption des nanomatériaux de pointe.

Ce n'est pas la première fois que de nouvelles technologies menacent d'éliminer les produits d'exportation du Sud. Dans les années 1980, la biotechnologie a prédit que la production de plusieurs produits tropicaux serait déplacée vers des centres de biofermentation dans les pays du Nord. Pourquoi faire venir la vanille (le caoutchouc, le cacao, le

café) des Tropiques quand des cultures cellulaires peuvent fabriquer le même produit en laboratoire? Mais les produits issus de la biofermentation étaient de qualité inégale et les coûts de production ne pouvaient égaler les prix chroniquement misérables offerts pour les produits tropicaux. La nanotechnologie réussira-t-elle là où la biotechnologie a échoué?

La section suivante examine de plus près l'impact des nanoproducts actuels (ou en développement) sur les marchés du coton et du caoutchouc.

Nanofibres c. coton – Le pantalon plus que parfait : En 1952, dans la comédie *L'homme au complet blanc*, un scientifique non conformiste joué par Alec Guinness invente un tissu insalissable et inusable. Loin d'applaudir cette innovation géniale, ses collègues et patrons de l'industrie textile y voient une menace à leur emploi et à leur entreprise – ils forment des *escadrons* qui le prennent en chasse. À l'heure où nanoparticules et nanofibres invisibles sont insérées de plus en plus souvent à des *produits miracles* (dont les vêtements), le symbolique complet blanc retrouve une nouvelle pertinence.

S'il y a un produit vedette du nanocommerce, c'est bien le pantalon. Reprenant à leur compte un vieux truc de voyageur de commerce, il semble que tous les nanoprosélytes finissent par brandir leur nanopantalon magique sur lequel ils renversent du café devant un auditoire médusé (si tout va bien, le café perle comme du mercure et disparaît sans laisser de trace). Au premier rang de la mode nano, on retrouve la société Nano-Tex, des É.-U., détenue à 51 % par Burlington Industries (BI). À sa grande époque, BI était le premier fabricant de textile au monde, mais

l'entreprise a fait faillite en 2001. Quand Wilbur Ross bought a racheté BI pour 620 millions \$ en 2003 – coupant l'herbe sous le pied au magnat du marché, Warren Buffet – il voulait ressusciter BI en appliquant la technologie de Nano-Tex aux tissus de BI, et vendre des licences d'exploitation à d'autres producteurs.⁸² À ce jour, Nano-Tex a cédé des licences à 40 usines de textile et ses nanotissus ont été utilisés avec succès dans des vêtements de marque – dont Eddie Bauer, Lee, Gap, Old Navy et Kathmandu.

Nano-Tex a mis au point un procédé pour fixer des *nanobarbes* aux fibres textiles à l'aide de *nanocrochets*. Les barbes empêchent le liquide de pénétrer la surface du tissu ce qui le rend antitache. Un autre procédé de Nano-Tex – *Coollest Comfort* – vise à reproduire les qualités du coton naturel (séchage rapide et capacité de repousser l'humidité) dans les tissus synthétiques. Une troisième technologie – *Nano-Touch* – produit une nanofibre synthétique ayant la texture du coton en beaucoup plus résistant. Selon le fondateur de Nano-Tex, « Ce sera notre produit phare! »⁸³

Peut-être un produit phare pour Nano-Tex, mais pas forcément une bonne nouvelle pour les 100 000 000 de familles qui vivent de la production du coton dans le monde – en majorité dans des pays du Sud.⁸⁴ Le coton est un produit qui bat déjà de l'aile. Les prix chutent depuis cent ans, en partie à cause de la concurrence des fibres synthétiques bon marché. Ces fibres manufacturées vont de la rayonne, à base de cellulose (sur le marché depuis 1891), aux fibres Dupont à base de pétrole, comme le nylon. De nos jours, malgré des récoltes records, le coton représente seulement 40 % des quelque 52 millions de tonnes de fibres consommées dans le monde. D'autres fibres naturelles ont connu le même sort : la laine compte pour un maigre 2,5 % et la soie, un minuscule 0,2 %. On prévoit utiliser un total de presque 60 millions de tonnes de fibres par année d'ici 2010, mais la demande de fibres synthétiques augmente deux fois plus vite que celle du coton – et cela, sans tenir compte de l'impact éventuel des nanofibres.

En plus des nanotissus de Nano-Tex, d'autres sont en développement. Un groupe dirigé par le chimiste Ray Baughman de l'Université du Texas, à Dallas, a mis au point des

« La modernisation des œuvres de Mère nature par nos propres dispositifs technologiques exercera un impact profond sur l'économie manufacturière. Quand l'industrie peut assembler chimiquement et à bon prix des matériaux et des dispositifs de la même façon qu'on produit maintenant de la bière, du fromage et du vin, on doit s'attendre à des bouleversements et des modifications radicales dans les chaînes d'approvisionnement et les chaînes de valeur. »

– Lux Research inc.,
The Nanotech Report 2004

Le coton : quel est l'enjeu?⁸⁵

- Le coton est cultivé dans plus de 100 pays
- 35 des 53 pays africains produisent du coton – 22 en exportent
- La valeur de la production de coton était estimée à 24 milliards \$ en 2002-2003
- Plus de 100 millions de familles travaillent directement à la production du coton
- Plus d'un milliard de personnes sont liées au secteur du coton – cela comprend les familles et le personnel qui produisent, transportent, égrènent, mettent en ballot et entreposent le coton

Ce sont généralement les pays les plus pauvres et ceux qui dépendent le plus des exportations agricoles qui subissent les plus grands bouleversements quand on adopte les nouveaux matériaux nanostructurés.

tissus à base de nanotubes de carbone – ils sont 17 fois plus solides que le Kevlar et peuvent transporter une charge électrique, ce qui leur permet de faire fonctionner du matériel tel qu'un téléphone cellulaire.⁸⁶ Une équipe de l'Université Clemson en Caroline du Sud (É.-U.), sous la direction du professeur Nader Jalili, est en train de développer des tissus à base de nanofibres de carbone capables de produire de l'électricité quand la personne qui les porte se déplace.⁸⁷

Dans une autre application développée au MIT en collaboration avec l'Institute for Soldier Nanotechnologies, le professeur de sciences des matériaux Yoel Fink a mis au point des nanofibres de verre qui changent de couleur selon l'épaisseur du fil, ce qui pourrait affecter le marché des teintures textiles. Fink et ses collègues prévoient qu'une fois tissés dans les vêtements, leurs nanofils vont permettre au consommateur d'en modifier la couleur à son gré – gris souris pour une rencontre d'affaires et fuchsia éclatant pour un dîner galant. Dans un premier temps (peut-être d'ici deux ans), l'armée des É.-U. va incorporer ces nanofils aux uniformes militaires pour aider les soldats à se distinguer des troupes ennemies.⁸⁸

Nanoparticules c. caoutchouc

Comme le coton, le caoutchouc est

un produit agricole importé principalement sous sa forme naturelle – il provient de pays du Sud tels que l'Inde, l'Indonésie, la Thaïlande et la Malaisie. Contrairement au coton, le caoutchouc naturel a mieux résisté au défi de ses concurrents synthétiques développés pendant la Deuxième Guerre mondiale. Même si 75 % du caoutchouc utilisé dans le monde était synthétique en 1964, l'introduction de pneus radiaux a revitalisé le marché du caoutchouc naturel. En 2004, l'ensemble de la production mondiale de caoutchouc devrait atteindre 19,61 millions de tonnes, dont 8,26 millions d'origine naturelle, soit 42 %.⁸⁹

À l'heure actuelle, environ 50 % des pneus d'automobile sont faits de caoutchouc naturel.⁹² On incorpore depuis longtemps de petites particules de noir de carbone (incluant des nanoparticules) au caoutchouc pour améliorer la durabilité et la résistance des pneus. Plusieurs grands fabricants de pneus sont en train de développer des nanoparticules dans le but d'augmenter encore la durabilité des pneus. Cabot, l'un des plus gros producteurs de pneus de caoutchouc au monde, a testé avec succès les nanoparticules de carbure de silice PureNano, conçues par Nanoproducts Corporation au Colorado. Ajoutées aux pneus, les particules PureNano réduisent l'usure d'environ 50 % – si on adopte

Le caoutchouc : quel est l'enjeu?

- Les exportations de caoutchouc naturel des pays du Sud s'élevaient à 3,6 milliards \$ en 2000. Les cinq plus grands producteurs : Thaïlande, Indonésie, Inde, Malaisie et Chine.
- La Thaïlande produit plus du tiers du caoutchouc naturel dans le monde.⁹⁰
- 90 % du caoutchouc de la Thaïlande est produit sur des terres d'une superficie inférieure à 4 hectares, par quelque six millions d'agriculteurs.⁹¹

largement cette simple amélioration, les pneus dureront deux fois plus longtemps, ce qui réduira de manière radicale les besoins de caoutchouc. Dans le moment, on recharge chaque année 16,5 millions de pneus juste aux É.-U.⁹³ Ce nombre diminuerait vraisemblablement de moitié. D'autres entreprises veulent incorporer des nanotubes de carbone, annonçant des pneus qui dureraient plus longtemps que la voiture. Selon des rumeurs qui circulent à Silicon Valley, un fabricant de contraceptifs tente pour sa part d'ajouter des nanotubes de carbone aux condoms pour les renforcer.⁹⁴

On prévoit aussi des nanochangements à l'intérieur même des pneus. Des sociétés comme Inmat et Nanocor produisent des nanoparticules d'argile que l'on peut incorporer aux plastiques et caoutchoucs synthétiques pour créer une surface étanche à l'air. La nanoargile d'Inmat a déjà été utilisée comme scellant pour les balles de tennis à *deux noyaux* produites par le fabricant d'articles de sport Wilson. On prétend que les balles Double Core rebondissent deux fois plus parce que les nanoparticules emprisonnent l'air de manière plus efficace.

Inmat, qui devait à l'origine s'associer à Michelin, numéro un de l'industrie des pneus, estime qu'on pourrait utiliser la même technologie pour sceller l'intérieur des pneus, ce qui réduirait la quantité de butylcaoutchouc requise et produirait un pneu plus léger, plus économique et plus résistant à la chaleur.⁹⁵

L'ambition ultime, c'est le remplacement pur et simple du caoutchouc. L'une des options est un nanomatériau super léger, appelé aérogel,

qu'on proposait d'utiliser pour les pneus de l'engin spatial envoyé sur Mars (on a fini par choisir des pneus classiques). Comme son nom l'indique, l'aérogel se compose en grande partie d'air (98 %) – des milliards de nanobulles d'air dans une matrice de silice.⁹⁶ En plus d'être léger, l'aérogel est extrêmement résistant à la chaleur et fait un isolant remarquable. Des chimistes de l'Université du Missouri-Rolla (É.-U.) affirment qu'ils ont mis au point un nouvel aérogel imperméable qui peut remplacer le caoutchouc dans les pneus.⁹⁷ Au moins un fabricant de pneus, Goodyear, détient un brevet sur un pneu dont la bande de roulement contient des aérogels de silice.⁹⁸ Le marché mondial des pneus est dominé par cinq multinationales : Michelin, Bridgestone, Goodyear, Continental et Sumitomo. En 2001, les 5 principaux fabricants de pneus monopolisaient plus des deux tiers des ventes de pneus dans le monde.⁹⁹

Cultiver de nouveaux nanoproducts de base : Au fur et à mesure qu'augmente la production de masse de nanomatériaux – bientôt plusieurs tonnes – on voit émerger des procédés qui pourraient offrir



L'ambition ultime, c'est le remplacement pur et simple du caoutchouc.

« Depuis l'arrivée des nanos, les salons ne sont plus ce qu'ils étaient! »



« La cellulose est la source renouvelable de polymère la plus abondante sur terre. Elle forme la structure de tous les végétaux. Certains chercheurs ont prédit qu'on pouvait en faire des fibres presque aussi solides que le Kevlar, mais personne n'y est parvenu jusqu'ici. »

– Margaret Frey, professeure adjointe en textiles, Université Cornell.¹⁰⁴

de nouveaux débouchés pour certaines matières premières agricoles – en quantité assez réduite cependant :

Filer des nanofibres : Des scientifiques de l'Université de Cambridge en Angleterre explorent des procédés de fabrication de nanotubes de carbone à base d'éthanol de maïs.¹⁰² Alors que la plupart des procédés utilisent le pétrole ou le graphite comme matière première, le Dr Alan Windle et son équipe injectent de l'éthanol dans un puissant courant d'hydrogène qui traverse un four à 1000 °C. La chaleur intense décompose l'éthanol, et les atomes de carbone se réassemblent en nanotubes d'environ un micron de longueur, qui flottent dans le courant d'hydrogène, lâchement liés les uns aux autres dans une *fumée élastique*. On tire ensuite les nanotubes de ce nuage amorphe, à la façon d'un rouet qui file la laine. Ce procédé permet de former des fils continus de nanotubes de carbone mesurant jusqu'à 100 mètres de longueur – ils sont cependant de piètre qualité pour le moment.

D'autres substances que l'éthanol de maïs peuvent servir à fabriquer des nanofibres utiles. À l'Université Cornell, une autre équipe est en train de perfectionner un ancien procédé, *l'électrospinning*.¹⁰³ La cellulose végétale est dissoute dans un solvant puis pressée par courant électrique dans un trou d'épingle qui produit une fibre de moins de 100 nm de diamètre. Les scientifiques travaillent à modifier les propriétés de ces nanofibres pour les rendre plus solides.

Selon Margaret Frey, professeure adjointe en textiles à l'Université Cornell, « La cellulose est la source renouvelable de polymère la plus abondante sur terre. Elle forme la structure de tous les végétaux. Certains chercheurs ont prédit qu'on pouvait en faire des fibres aussi solides que le Kevlar, mais personne n'y est parvenu jusqu'ici. »¹⁰⁴

Les chercheurs de Cornell récupèrent d'abord la cellulose dans les résidus de production du coton, mais en principe, ils pourraient récolter la cellulose de n'importe quel déchet vert.¹⁰⁵ C'est sans doute une bonne nouvelle pour l'industrie textile qui pourrait acheter à bon prix des

Les aliments, nanomatériaux de la nature

Dans un article récent de la revue *Nature Materials*, une chercheuse du laboratoire Cavendish de l'Université de Cambridge, exhortait ses collègues scientifiques à considérer l'agriculture non pas comme une « matière première de composition essentiellement incontrôlable », mais plutôt comme une « catégorie de matériaux riche et diversifiée », dont plusieurs « nanocomposites, où l'autoassemblage peut jouer un rôle clé ».¹⁰⁰ Athene Donald fait remarquer que la variabilité des matières premières, une caractéristique inhérente à tous les produits naturels en raison des différences de sol, de climat et de cultivar d'une région à l'autre, produit des ingrédients *instables* – les nanotechnologues pourront uniformiser ces ingrédients, les stabiliser et même les rendre plus nutritifs. Reconnaissant que « l'émotion l'avait emporté sur la science » dans le débat sur les OGM, du moins en Europe, elle a bon espoir que la nanotechnologie puisse « améliorer les produits bruts » de manière acceptable pour la population.¹⁰¹

déchets végétaux, mais ce ne sera quand même pas le pactole pour les agriculteurs, vu l'abondance de la cellulose.

La culture des particules : À l'avenir, on pourrait produire des nanoparticules industrielles ailleurs qu'en laboratoire, les cultiver dans des champs de cultures génétiquement modifiées – des fermes consacrées à la *culture des particules*. Il est bien connu que les plantes peuvent utiliser leurs racines pour extraire du sol nutriments et minéraux, mais des recherches menées à l'Université du Texa-El Paso confirment que les plantes peuvent aussi absorber des nanoparticules qu'on pourrait récolter sur une base industrielle. Dans le cadre d'une expérience sur la culture des particules, on a fait pousser de la luzerne dans un sol artificiellement enrichi en or sur les terrains de l'université. Quand les chercheurs ont examiné les plants, ils ont trouvé dans les racines et tout le long du système foliacé des nanoparticules d'or dotées des mêmes propriétés physiques que celles produites selon les procédés chimiques classiques – onéreux et nocifs pour l'environnement.¹⁰⁶ Pour extraire les métaux, il suffit de dissoudre la matière organique.

Des expériences initiales ont démontré que les particules d'or prenaient des formes aléatoires, mais une modification du taux d'acidité du substrat semblait produire des formes plus régulières.¹⁰⁷ Les chercheurs expérimentent maintenant d'autres métaux et utilisent du blé et de l'avoine, en plus de la luzerne, pour produire des nanoparticules d'argent, d'europium, de palladium, de platine et de fer.¹⁰⁸ Pour la production industrielle, les chercheurs estiment que les plants de particules pourraient être cultivés à l'intérieur dans des sols enrichis

en or ou à proximité de mines d'or abandonnées.¹⁰⁹

En attendant, les chercheurs en nanobiotechnologie du National Chemistry Laboratory de Pune, en Inde, procèdent à des expériences similaires en immergeant des feuilles de géranium dans une solution aurifère.¹¹⁰ Après 3 à 4 heures, les feuilles produisent des particules de 10 nm ayant la forme de bâtons, de sphères et de pyramides qui reproduisent, selon le chercheur Murali Sastry, les formes des composés aromatiques présents dans les feuilles. En modifiant les composés aromatiques, Sastry estime qu'il est possible de modifier la forme des nanoparticules (ainsi que leurs propriétés).

Évaluation de l'impact de la roulette des produits de base : Il est trop tôt pour décrire précisément l'impact exercé par la nanoéconomie des particules artificielles sur la production de produits agricoles classiques – mais il est évident qu'un impact se fera sentir. Compte tenu des brevets et innovations nanos pilotés par le Nord (notamment aux É.-U.), il y aura des pressions en vue de remplacer les produits tropicaux comme le caoutchouc et le coton de qualité par des matières premières moins coûteuses, que l'on peut obtenir et transformer à proximité (maïs, avoine, résidus de coton). Nous ne voulons pas préserver le statu quo à tout prix et nous ne disons pas que les petits agriculteurs et les travailleurs agricoles doivent rester à jamais tributaires de cultures d'exportation aux cours notoirement capricieux. Mais le fait est que la technologie de l'infiniment petit entraînera des bouleversements socioéconomiques auxquels la société est mal préparée. Comme toujours, ce sont les pauvres qui sont les plus vulnérables.

À l'avenir, on pourrait produire des nanoparticules industrielles ailleurs qu'en laboratoire, les cultiver dans des champs de cultures génétiquement modifiées – des fermes consacrées à la culture des particules.

Compte tenu des brevets et innovations nanos pilotés par le Nord (notamment aux É.-U.), il y aura des pressions en vue de remplacer les produits tropicaux comme le caoutchouc et le coton de qualité par des matières premières moins coûteuses, que l'on peut obtenir et transformer à proximité (maïs, avoine, résidus de coton).

Les nouveaux nanomatériaux peuvent offrir des avantages sur le plan environnemental. Ainsi, une réduction du nombre de pneus usagés pourrait réduire la quantité de déchets dans les dépotoirs et les décharges publiques. Les nanosceptiques argueront cependant que les nanomatériaux destinés à remplacer le caoutchouc risquent aussi d'entraîner d'autres problèmes de disposition des déchets et introduire de nouveaux contaminants dans l'environnement.

Les nouveaux nanomatériaux peuvent offrir des avantages sur le plan environnemental. Ainsi, une réduction du nombre de pneus usagés pourrait réduire la quantité de déchets dans les dépotoirs et les décharges publiques. Les nanosceptiques argueront cependant que les nanomatériaux destinés à remplacer le caoutchouc risquent aussi d'entraîner d'autres problèmes de disposition des déchets et introduire de nouveaux contaminants dans l'environnement.

À court terme, les fermes industrielles capables d'offrir des quantités importantes de cellulose pourraient profiter d'un nouveau créneau sur le marché et tirer des revenus de ce qui était autrefois considéré comme un rebut. Il pourrait y avoir un écart momentané des marchés de l'éthanol, mais les agriculteurs nord-américains auraient tort de croire qu'ils seront au cœur de la nouvelle nanoéconomie. Dans l'éventualité d'un véritable essor du filage de nanofibres à base de cellulose ou d'éthanol, les vrais gagnants seront les gros conditionneurs de grain qui pourront offrir ces produits de base à bon compte.

L'extraction de nanoparticules des terres riches en minerai par la culture de plantes de variétés particulières ou de plantes de synthèse peut devenir un élément important dans les régions plus pauvres, notamment celles dont l'économie repose sur les mines. Si on pouvait extraire du minerai en cultivant des plantes qui transforment les particules, on disposerait d'une solution de rechange à un métier dangereux en même temps que de nouvelles sources de revenus pour les pays en développement. Mais la culture des particules n'est vraisemblablement pas une formule adaptée aux petits agricul-

teurs et aux paysans. Pour recapturer et caractériser les nanoparticules, il faut des centres de transformation de pointe que les producteurs à petite échelle n'ont pas les moyens de s'offrir. C'est aussi une formule susceptible de modifier en profondeur les modèles d'utilisation des sols – des terres autrefois marginales pourraient devenir des sites recherchés pour la culture des particules de minerais rares – ce qui risque de déplacer des cultures traditionnelles et des écosystèmes fragiles. La dissémination de plantes génétiquement modifiées en vue d'améliorer la production de nanoparticules peut soulever des préoccupations importantes sur le plan de la biosécurité, tout comme la perspective de voir des cultures contenant des nanoparticules bioactives se mêler à l'approvisionnement alimentaire.

Autres usages agricoles des nanomatériaux : Des projets en cours aux quatre coins du monde étudient la possibilité d'utiliser des nanoparticules à des fins agricoles autres que les pesticides – de l'amélioration de la photosynthèse jusqu'à celle de la germination et de la gestion des sols.

• **Des engrais aux buckminsterfullerènes?** Des chercheurs de l'Université de Kyoto (Japon) ont réussi à produire de l'ammoniac à partir de buckminsterfullerènes. L'ammoniac est un composant essentiel des engrais, mais on ne peut pas encore dire si le produit utilisé dans les champs contiendrait des fullerènes.¹¹¹

• **Nanomélange de TiO₂ :** Des scientifiques de l'Université de la Corée ont demandé un brevet sur un mélange liquide composé de nanoparticules de bioxyde de titane censé détruire les ravageurs,

améliorer la photosynthèse et stimuler la croissance quand on l'applique à des plants de riz.¹¹²

• **Semis de fer** : L'Académie des sciences de la Russie rapporte qu'on a amélioré la germination de graines de tomates en pulvérisant dans les champs une solution de nanoparticules de fer.¹¹³

• **Liant de sol** : En 2003, ETC Group a rapporté l'existence du nanoliant de sol SoilSet, mis au point par Sequoia Pacific Research en Utah (É.-U.).¹¹⁴ SoilSet est une couverture de sol à prise rapide qui utilise les réactions chimiques à l'échelle nano pour lier le sol. On l'a pulvérisé sur les 1400 acres du mont Encebado au Nouveau-Mexique afin de prévenir l'érosion découlant des incendies de forêt, ainsi que sur de plus petites surfaces dévastées par le feu dans Mendocino County, en Californie.

• **Dépollution du sol** : On développe actuellement plusieurs procédés en vue d'appliquer les nanotechnologies (notamment les nanoparticules) à la dépollution des sols contaminés par des métaux lourds et des BPC. Le Dr Wei-xang Zhang a utilisé le premier un nanoprocédé de dépollution, l'injection de fer à l'échelle nanométrique dans un site contaminé.¹¹⁵ Les particules suivent les mouvements de la nappe phréatique et font le travail de décontamination en cours de route, ce qui est beaucoup plus économique que d'excaver le sol pour le traiter. Les tests effectués par le Dr Zhang démontrent une réduction importante du niveau de contaminants en un jour ou deux. Les tests démontrent aussi que le nanofer reste actif dans le sol pendant six à huit semaines, après quoi il se dissout dans la nappe phréatique et se confond avec le fer naturellement présent dans l'eau.

La ferme des nanomaux

Le bétail et le poisson n'échapperont pas à la nanorévolution. Si la nanomédecine fonde tous ses espoirs sur la détection des maladies et les nouveaux médicaments, les nanoapplications vétérinaires peuvent devenir le banc d'essai de techniques non testées et plus litigieuses – des vaccins en nanocapsules à la sélection du sexe des animaux d'élevage.

Biopuces : Grâce aux biopuces, on peut analyser et manipuler instantanément des échantillons biologiques – sang, tissus et sperme. En moins de cinq ans, les biopuces sont devenues une technologie courante en génomique et en création de médicaments – elles gagnent maintenant les applications commerciales en rapport avec les soins de santé et la salubrité des aliments.

La biopuce (ou puce à ADN) est un dispositif habituellement composé de centaines ou de milliers de brins courts d'ADN artificiel, déposés avec précision sur un circuit de silicium. Dans les puces à ADN, chaque brin d'ADN sert de sonde sélective qui enregistre un signal électrique quand il se lie à un matériau de l'échantillon (du sang, par exemple). À la manière d'une recherche par mot-clé, la biopuce peut faire état des séquences génétiques détectées par les sondes à ADN qui y sont intégrées. Les biopuces les plus connues sont celles de la société Affymetrix, qui a inventé cette technologie et fabriqué la toute première puce à ADN capable d'analyser l'ensemble du génome humain sur une biopuce pas plus grosse qu'une pièce de dix sous.¹¹⁶

En plus des puces à ADN, il existe d'autres variantes capables de détecter d'infimes quantités de protéines et de produits chimiques

L'Académie des sciences de la Russie rapporte qu'on a amélioré la germination de graines de tomates en pulvérisant dans les champs une solution de nanoparticules de fer.

« Des chercheurs enthousiastes affirment que la miniaturisation et l'intégration de la chimie et de la biologie déclencheront une véritable révolution.

La microfluidique réinventera la biologie comme l'informatique a réinventé le calcul. »

– Kyle James, Small Times¹²¹

dans un échantillon, ce qui en fait des outils précieux pour détecter les maladies ou les agents de la guerre biologique. Agilent (Hewlett-Packard) et Motorola offrent déjà des appareils d'analyse des biopuces de la taille d'une imprimante à jet d'encre – chacun peut traiter jusqu'à 50 échantillons à la demi-heure.

Les nanomatériaux destinés à remplacer le caoutchouc risquent aussi d'entraîner d'autres problèmes de disposition des déchets et d'introduire de nouveaux contaminants dans l'environnement.

On peut utiliser les puces pour la détection précoce des maladies chez l'animal. Ainsi, des chercheurs de l'Université de Pretoria sont en train de mettre au point des biopuces capables de détecter des maladies courantes transmises par les tiques.¹¹⁷ Les biopuces peuvent aussi servir à la traçabilité des aliments de consommation humaine et animale. Ainsi, la puce FoodExpert-ID de bioMérieux teste rapidement la moulée pour détecter la présence de produits issus de quarante espèces animales en vue de retracer les agents pathogènes – une réponse aux préoccupations de santé publique découlant de la grippe aviaire et la maladie de la vache folle.¹¹⁸

L'un des buts est d'adapter les biopuces aux fins d'élevage. Une fois maîtrisée la cartographie du génome humain, les généticiens se sont rapidement attaqués aux génomes d'autres espèces animales – bovins, moutons, poules, porcs et autres bêtes d'élevage – dans l'espoir d'identifier les séquences génétiques liées à des traits rentables sur le plan commercial, dont la résistance aux maladies et la faible teneur en gras de la viande. En intégrant aux biopuces des sondes qui ciblent ces traits, les

éleveurs pourront vite identifier les champions et supprimer les maladies génétiques.

Micro et nanofluidique

La microfluidique est une plateforme technologique plus récente à l'échelle des biopuces. Les systèmes micro et nanofluidiques analysent en contrôlant le débit de liquides ou de gaz dans une série de minuscules valves et canaux, triant les éléments au passage, à la manière d'un circuit électronique qui trie les données par transferts et portes logiques. Souvent gravés sur silicium, les canaux microfluidiques peuvent faire moins de 100 nm de largeur. Cela leur permet de traiter du matériel biologique comme l'ADN, des protéines ou des cellules en quantités infimes – habituellement en nano ou picolitres (1000 fois plus petits que les nanolitres). La microfluidique donne non seulement les moyens d'effectuer des analyses très précises, mais elle ouvre aussi la porte à la manipulation de matière vivante, puisqu'elle permet de mêler, séparer et traiter divers composants à l'échelle nano.

Dans l'élevage du bétail, la microfluidique sert à trier les spermatozoïdes et les œufs. Le chef de file dans le domaine est XY inc., au Colorado (É.-U.), qui utilise un procédé de microfluidique, la cytométrie des flux, pour séparer les spermatozoïdes mâles des spermatozoïdes femelles en vue du sexage. XY a réussi à prédéterminer le sexe de chevaux, de bovins, de moutons et de porcs – la société offre maintenant sa technologie aux éleveurs commerciaux. Arryx, le rejeton de Nanotech, qui a mis au point un nouveau système de microfluidique du nom de MatRyx, utilise une nanotechnique dans laquelle de minuscules faisceaux laser emprisonnent chacun des

spermatozoïdes pour les trier ensuite selon le poids. MatRyx peut trier quelque 3000 spermatozoïdes à la seconde; on veut commercialiser le microfluidique système pour l'élevage du bétail. « Cela permet aux producteurs laitiers d'avoir des vaches et aux producteurs de bœuf d'avoir des taureaux ayant plus de viande », explique le P.D.G. d'Arryx, Lewis Gruber.¹¹⁹ Son objectif est de produire un trieur qui fonctionne sur simple pression d'un bouton.

Matthew Wheeler, professeur en zootechnie à l'Université de l'Illinois, est allé plus loin en développant un dispositif microfluidique qui peut non seulement trier œufs et spermatozoïdes, mais aussi les joindre de façon similaire à la reproduction naturelle et s'occuper ensuite de l'embryon. Selon le Dr Wheeler, un tel procédé permettrait la production massive d'embryons de manière économique, rapide et fiable.¹²⁰ Avec ses collègues, il a créé une entreprise, Vitaelle, pour commercialiser cette technologie.

Nanomédecine vétérinaire :

Les promesses sont encore plus renversantes en nanomédecine : nouveaux diagnostics, nouveaux traitements et amélioration de la performance humaine. La National Science Foundation des É.-U. estime que d'ici 2010, la nanotechnologie représentera environ la moitié des ventes de l'industrie pharmaceutique. On dit moins souvent que l'impact sera sans doute le même en santé animale – soit que les nanotechnologies démontrent leur valeur en médecine, soit que ce marché serve de banc d'essai à des formules plus controversées, telles que l'utilisation de nanocapsules à ADN. Des firmes comme SkyePharma, IDEXX et Probiomed développent des applications vétérinaires

pour les nanoparticules. L'évaluation en profondeur de la façon dont les firmes pharmaceutiques utilisent les nanotechnologies pour concevoir et administrer les médicaments dépasse le cadre de ce rapport. On trouvera ci-dessous un aperçu des principales technologies qui s'appliquent également à l'industrie pharmaceutique vétérinaire :

Découverte de médicaments :

L'imagerie des nanomolécules biologiques et la faculté de les isoler permettent de concevoir des médicaments plus ciblés, tout en accélérant de beaucoup le criblage génomique et l'examen des composés pour évaluer leur pertinence comme médicaments. Les entreprises pharmaceutiques s'intéressent particulièrement aux biopuces et aux dispositifs microfluidiques (voir ci-dessus) pour détecter les différences génétiques des tissus en vue de concevoir des médicaments *personnalisés* selon le profil génétique du patient. (pharmacogénomique).¹²²

Détection des maladies : Comme elles se déplacent librement dans l'organisme, les nanoparticules peuvent servir au diagnostic. On s'intéresse notamment aux points quantiques – des nanocristaux de séléniure de cadmium fluorescents dont la couleur se modifie en fonction de la taille. Les points quantiques peuvent servir à marquer de couleurs spécifiques divers composants biologiques – protéines ou brins d'ADN, par exemple. On peut ainsi détecter dans un échantillon de sang certaines protéines qui dénotent la prédisposition à une maladie donnée. On peut obtenir un effet similaire avec les nanocoquilles d'or, de minuscules perles de verre recouvertes d'or qui changent de couleur selon l'épaisseur de la couche d'or. Les nanocoquilles et

« À l'ère des nouvelles technologies de la santé, la médecine vétérinaire connaîtra des transformations révolutionnaires et prodigieuses. Le facteur capital de ces changements est la faculté récente de mesurer, manipuler et organiser la matière à l'échelle nanométrique... »

– Dr Jose Feneque, Miami, Floride

Les composés pharmaceutiques reformulés en nanoparticules peuvent atteindre des parties du corps inaccessibles aux préparations actuelles, en plus d'offrir une activité biologique accrue en raison de leur plus grande surface active. Grâce à leur biodisponibilité accrue, on peut utiliser des concentrations plus faibles de médicaments coûteux et sans doute réduire les effets secondaires.¹²⁴

points quantiques peuvent être conçus pour se fixer aux tumeurs et aux cellules malignes afin de faciliter leur dépistage dans l'organisme. Des scientifiques de l'Université Rice ayant développé ce procédé ont aussi démontré, chez l'animal, qu'il est possible de chauffer les nanocoquilles à l'aide de rayons laser afin qu'elles détruisent de manière sélective les tissus malades auxquelles elles sont fixées, sans endommager la peau ou les tissus sains. Une licence d'exploitation de cette technologie a été accordée à une entreprise en démarrage.¹²³

Nouveaux mécanismes

d'administration : Même les médicaments vont rétrécir. Les nanostructures ont l'avantage de s'introduire dans l'organisme à l'insu du système immunitaire et elles peuvent traverser les obstacles (barrière hémato-encéphalique ou paroi de l'estomac) utilisés par le corps pour se protéger des substances indésirables.

Les composés pharmaceutiques reformulés en nanoparticules peuvent atteindre des parties du corps inaccessibles aux préparations actuelles, en plus d'offrir une activité biologique accrue en raison de leur plus grande surface active. Grâce à leur biodisponibilité accrue, on peut utiliser des concentrations plus faibles de médicaments coûteux et sans doute réduire les effets secondaires.¹²⁴ Les nanoparticules peuvent aussi servir de vecteurs pour introduire dans l'organisme les composés qui y sont fixés.

De grandes sociétés nanopharmaceutiques telles que SkyePharma et Powderject (maintenant une filiale à part entière de Chiron) ont mis au point des procédés en vue d'administrer des nanoparticules pharmaceutiques par la peau ou par

inhalation. Des chercheurs de la Floride travaillent à des nanosystèmes qui diffusent le médicament dans l'œil au moyen de verres de contact spécialement imprégnés. Comme dans le cas des pesticides, le principal avantage est la *libération contrôlée*. Plusieurs des grandes firmes pharmaceutiques intéressées aux nanomédicaments (pour l'être humain et l'animal) utilisent les technologies d'encapsulation – telles que les nanocapsules – pour introduire les composants actifs dans l'organisme et autour. On peut assigner aux capsules la fonction de se fixer à des sites précis, ou les activer par déclencheur externe – champ magnétique ou ultrason. Le USDA compare ces nanocapsules dotées de fonctions, ou *systèmes d'administration intelligents*, au système postal, où des *étiquettes d'adresse* à code moléculaire permettent d'acheminer le produit pharmaceutique à la destination voulue.¹²⁵

On utilise d'autres nanomatériaux que les capsules pour administrer les médicaments :

- Le **BioSilicon** est un nanomatériau très poreux à base de silicium, qui libère lentement le médicament sur une période prolongée. Mise au point par la firme australienne pSivida, la technologie BioSilicon sert à fabriquer de minuscules capsules (à avaler) et des timbres transdermiques contenant de minuscules aiguilles qui percent la peau pour administrer le médicament.¹²⁶

- Les **fullerènes**, ou molécules miracles de la nanotechnologie (cette classe de molécules de carbone inclut les buckminsterfullerènes et les nanotubes de carbone), sont des cages creuses formées de soixante atomes de carbone de moins de deux nm de

largeur. Comme ils sont creux, on veut remplir les fullerènes de composés pharmaceutiques puis les doter de la fonction de se fixer à diverses parties du corps.

- Les **dendrimères**, des molécules ramifiées en réseau, sont en train de devenir l'un des instruments les plus en vogue de la nanotechnologie. En raison de leur taille et de leur forme, les dendrimères offrent trois avantages pour l'administration des médicaments : d'abord, ils peuvent retenir les molécules de médicament dans leur structure et servir de vecteur; ensuite, ils peuvent pénétrer facilement dans les cellules et libérer le médicament au site choisi; enfin, et surtout, les dendrimères ne déclenchent aucune réaction immunitaire. On peut aussi utiliser les dendrimères pour l'analyse et le diagnostic chimiques – ce qui permet d'espérer que des molécules de synthèse puissent un jour détecter, diagnostiquer et traiter des tumeurs ou d'autres cellules malades.

- Les **nanocapsules à ADN** introduisent des brins d'ADN viral dans les cellules. Une fois la capsule décomposée, l'ADN pirate le mécanisme cellulaire pour produire des composés simulant une attaque virale, ce qui alerte le système immunitaire et l'entraîne à les reconnaître. Cette technologie peut aussi servir à pirater des cellules vivantes pour produire d'autres composés tels que de nouvelles formes de protéines ou de toxines. Il faut donc surveiller ces technologies de près, puisqu'elles peuvent servir à la guerre biologique.

Évaluation des nanoproducts pharmaceutiques : Grâce aux nanotechnologies, l'industrie pharmaceutique peut inonder le marché de médicaments composés,

nouveaux et anciens. Réduire les médicaments actuels à l'échelle nano fait miroiter la possibilité de profits et de brevets, mais cela permet aussi de *redécouvrir* des médicaments ayant échoué aux essais cliniques sous leur forme classique. Les entreprises peuvent encapsuler des composés pharmaceutiques actifs censés cibler un site bien déterminé de l'organisme, en affirmant que cela élimine les effets secondaires et que les vieilles évaluations de sécurité ne s'appliquent plus.

Il faut aussi tester et contrôler soigneusement les nanoproducts pharmaceutiques approuvés pour l'usage vétérinaire afin d'empêcher leur introduction dans la chaîne alimentaire. On ne sait pas de quelle façon les nanoparticules survivent dans l'organisme ou s'y déplacent, ni si elles peuvent s'infiltrer dans le lait, les œufs et la viande. Les autorités concernées doivent réévaluer les médicaments vétérinaires actuels quand on les reformule en nanopréparations, puisque ce changement de taille peut modifier les propriétés des matériaux.

Petit Poulet en particules :

Le *Campylobacter jejuni* fait partie d'un groupe de bactéries en forme de spirale qui provoquent chez l'être humain des crampes abdominales et des diarrhées sanguinolentes, le plus souvent transmises par des produits de volaille contaminés. Depuis que les agents pathogènes ont acquis une résistance inquiétante aux antibiotiques classiques, l'industrie de la volaille se tourne vers les nanotechnologies pour trouver de nouveaux moyens de combattre les bactéries pathogènes comme le campylobacter. À l'Université Clemson, en Caroline du Sud (É.-U.), une recherche financée par le USDA

Réduire les médicaments actuels à l'échelle nano fait miroiter la possibilité de profits et de brevets, mais cela permet aussi de redécouvrir des médicaments ayant échoué aux essais cliniques sous leur forme classique.

Le USDA envisage l'émergence de troupeaux intelligents – vaches, moutons et porcs équipés de capteurs et de localisateurs qui transmettent à un ordinateur central les données relatives à leur santé et à leur position géographique.

étudie des nanoparticules de polystyrène spécialement conçues pour combattre la contamination à la ferme. Une fois ingérées par les poulets, elles se fixent au campylobacter dans l'intestin. Les chercheurs espèrent que les particules délogeront les bactéries de l'intestin pour les éliminer dans les fèces, réduisant ainsi le niveau de contamination des oiseaux destinés à la transformation.¹²⁷ Selon le Dr Robert Latour, chercheur à Clemson, on aurait testé sur un petit nombre d'animaux l'efficacité et la sûreté du procédé.¹²⁸

Des troupeaux intelligents :

Retracer les animaux a toujours été un casse-tête pour les agriculteurs, bien avant que la mère Michel ait le malheur de perdre son chat. Son problème aurait été réglé avec un nanochat! À l'instar des réseaux de capteurs utilisés par les technologies convergentes pour contrôler sur une base permanente la santé des cultures, des capteurs vont permettre de surveiller le bétail. Le USDA prédit l'émergence de *troupeaux intelligents* – vaches, moutons et porcs équipés de capteurs et de localisateurs qui transmettent à un ordinateur central les données relatives à leur santé et à leur position géographique.

C'est de l'agriculture de précision *sur pied*. Mais l'objectif ultime est beaucoup plus ambitieux – on veut implanter dans l'animal un petit dispositif qui administre de façon automatique et autonome des produits pharmaceutiques afin de prévenir les maladies. L'ajout de capteurs intégrés à des systèmes d'administration intelligents est qualifié de *procédé à injection*, puisque cela imite les capteurs utilisés dans les automobiles récentes pour doser l'injection de carburant dans le moteur. Les applications les plus proches du stade de la commercialisation sont

les dispositifs d'administration de l'insuline – ou *puces médicamenteuses* – reliés à des capteurs de glucose, pour ajuster le taux de glucose dans le sang des diabétiques (chez l'être humain). Avec le temps, cela pourrait devenir le mode d'administration de tous les médicaments, tant chez l'animal que chez l'être humain.

L'un des obstacles à surmonter dans la mise au point de dispositifs médicaux implantables, c'est que leurs composites (métal ou plastique) sont souvent incompatibles avec le tissu vivant. On essaie de régler le problème avec de nouveaux matériaux, conçus à l'échelle nano pour garantir leur biocompatibilité.

Évaluation de la ferme des

nanomaux : L'implantation de dispositifs de pistage n'est pas une idée nouvelle – pour les précieux animaux d'élevage ou de compagnie et pour la faune. On utilise déjà des micropuces injectables d'une foule de manières pour améliorer le bien-être des animaux et la sécurité – étudier le comportement de la faune dans son habitat naturel, assurer la traçabilité de la viande ou ramener des animaux égarés à leur maître. À l'ère nanotechnologique, la *modernisation* des animaux d'élevage par des capteurs, puces médicamenteuses et autres nanocapsules confirme leur statut d'unités de production industrielles. Il est également probable que les animaux servent de cobayes pour des applications moins avouables ou plus risquées qui seraient ensuite étendues à l'être humain. L'utilisation de la microfluidique dans l'élevage risque d'accélérer l'uniformité génétique au sein des espèces et laisse planer la possibilité d'appliquer de nouvelles technologies nano-eugéniques à l'être humain. La faculté de traiter les animaux à distance peut avoir des

effets négatifs, puisque le bétail sera privé des soins directs d'un être humain pendant des périodes prolongées.

Le transfert de ces technologies à l'être humain soulève de graves préoccupations sur le plan de la qualité de la vie et des libertés civiles. En octobre 2004, la Food and Drug Administration des É.-U. a approuvé l'utilisation de micropuces implantables chez l'être humain pour faciliter l'accès au dossier médical – c'est la première fois qu'on approuve les micropuces à des fins médicales aux É.-U.¹²⁹

À l'heure où le système de santé est de plus en plus soumis aux impératifs financiers, on peut décider qu'il est plus rentable d'administrer les médicaments par puces implantables que de faire appel au personnel infirmier. Cela soulève des questions d'éthique : dans le cas de personnes âgées, de personnes ayant des habiletés cognitives particulières ou qui doivent recevoir un traitement régulier, qui décidera d'en faire des *patients à injection*? L'administration automatique des médicaments permet à quelqu'un de conserver son autonomie plutôt que de vivre en institution. Mais il faut aussi étudier les effets de l'absence de soins prodigués par un être humain.

Nanoaquaculture : Le secteur de la production animale qui connaît actuellement la croissance la plus rapide dans le monde est l'élevage des poissons, crustacés et mollusques, notamment en Asie. Selon la FAO, la production en aquaculture s'élevait à 45,7 millions de tonnes en 2000 et elle augmente de plus de 9 % par année.¹³⁰ Réputée pour adopter d'emblée les nouvelles technologies, l'industrie hautement intégrée de la pisciculture pourrait être la première à incorporer et à commercialiser les

produits issus de la nanotechnologie. Citons quelques applications en émergence :

• **Nettoyage des étangs :** Établie au Nevada, Altair Nanotechnologies fabrique un produit destiné à assainir l'eau des piscines et des étangs à poissons, *NanoCheck*. C'est un composé à base de particules de lanthane de 40 nm, qui absorbe les phosphates et prévient la formation d'algues. NanoCheck fait présentement l'objet de tests à grande échelle pour l'utilisation dans les piscines et on prévoit qu'Altair lancera un nettoyant pour les piscines au début 2005.¹³¹ Altair prévoit une demande mondiale importante pour son produit – des milliers de centres commerciaux de pisciculture paient très cher à l'heure actuelle pour se débarrasser des algues et prévenir leur apparition. Altair envisage d'étendre ses tests pour confirmer que les nanoparticules ne nuisent pas aux poissons, mais on ne parle pas de tests sur l'impact que pourraient exercer d'éventuels débordements de nanoparticules sur la santé et l'environnement.¹³²

• **Nanovaccins à ADN :** Le USDA achève les essais d'un système de vaccination massive des poissons à base d'ultrasons.¹³³ Des nanocapsules contenant des brins courts d'ADN sont jetées dans l'étang et absorbées dans les cellules des poissons. On utilise ensuite des ultrasons pour faire éclater la capsule, libérant l'ADN qui stimule une réaction immunitaire. Jusqu'à présent, on a testé la technologie sur des truites arc-en-ciel produites par Clear Springs Foods (Idaho, É.-U.) – une importante firme d'aquaculture qui produit environ le tiers de toutes les truites d'élevage aux É.-U.

Des nanocapsules contenant des brins courts d'ADN sont jetées dans l'étang et absorbées dans les cellules des poissons. On utilise ensuite des ultrasons pour faire éclater la capsule, libérant l'ADN qui stimule une réaction immunitaire.

« De nos jours, nous faisons pousser un arbre et nous l'abattons pour fabriquer une table; dans cinquante ans, nous pourrions simplement faire pousser la table. Au fur et à mesure que les ingénieurs se penchent sur les systèmes biologiques, on verra se transformer notre infrastructure industrielle. Fondée sur le charbon et l'acier il y a cinquante ans, elle repose maintenant sur le silicium et l'information. Dans cinquante ans, elle sera fondée sur les systèmes vivants. Ce sera une nouvelle ère agricole, mais d'un tout autre genre. »

– Rodney Brooks, laboratoire d'intelligence artificielle et de science informatique, MIT¹³⁵

• **Accélérateurs de croissance :**

Des scientifiques de l'Académie des sciences de la Russie rapportent un taux de croissance plus rapide (respectivement 30 % et 24 %) chez les jeunes carpes et esturgeons ayant ingéré des nanoparticules de fer.¹³⁴

L'agriculture de demain – Nanobiotechnologie et biologie synthétique

À l'aube du 21^e siècle, le génie génétique est dépassé. La première conférence mondiale sur la biologie synthétique s'est tenue en juin 2004. Deux mois plus tard, l'Université de la Californie-Berkeley annonçait la création du premier département de biologie synthétique aux É.-U.¹³⁶ Selon le journaliste scientifique W. Wayt Gibbs, la biologie synthétique porte sur « la conception et la fabrication de systèmes vivants qui se comportent de manière prévisible, utilisent des pièces interchangeables et sont parfois dotés de codes génétiques élargis – ils sont donc capables de faire ce qu'aucun organisme naturel ne pourrait accomplir. »¹³⁷ L'un des buts, ajoute Gibbs, consiste à « étirer les limites de la vie et celles des machines jusqu'à ce qu'elles se fondent pour produire des organismes vraiment programmables. »¹³⁸

Même si biologie synthétique ne rime pas toujours avec nanobiotechnologie (fusion du monde vivant et du monde inerte à l'échelle nano pour produire des matériaux et organismes hybrides), la programmation et le fonctionnement de futures *machines vivantes* supposent souvent l'intégration d'éléments biologiques et non biologiques à l'échelle nano. Des scientifiques du nouveau département de biologie synthétique de Berkeley s'intéressent notamment à la conception et à la construction de *biobots* – des robots autonomes

dotés d'une fonction précise, de la taille d'un virus ou d'une cellule, composés à la fois d'éléments biologiques et de parties artificielles.¹³⁹

Cela fait déjà quelque temps que les scientifiques se rapprochent graduellement de la création de la vie à l'échelle nano. En 1968, le chimiste des É.-U. originaire de l'Inde, Har Gobind Khorana, a reçu le prix Nobel pour avoir synthétisé des nucléotides (protomères chimiques – A, T, C, G – qui forment la molécule d'ADN) et les avoir reliés en vue de former de l'ADN synthétique. En février 1976, une équipe de recherche de la Californie (les futurs fondateurs de Genentech) a mis au point un procédé automatisé de synthèse de l'ADN et fabriqué un gène synthétique tout à fait fonctionnel. Les gènes synthétiques et l'ADN synthétique sont désormais un élément de base du génie génétique en médecine et en agriculture.

En 2002, des chercheurs de Stony Brook (l'université de l'État de New York) ont synthétisé les 7440 lettres du génome du poliovirus à partir de segments d'ADN reçus par la poste. Les chercheurs de Stony Brook ont mis trois ans à créer de toutes pièces un poliovirus vivant. Moins de deux ans plus tard, une équipe dirigée par Craig Venter (qui avait participé au projet du génome humain) a réussi à synthétiser un virus un peu plus petit en trois semaines, améliorant la perspective d'assembler rapidement des micro-organismes – en même temps que la possibilité de créer de toutes pièces de dangereux agents de la guerre biologique.

Venter, qui dirige l'Institute of Biological Energy Alternatives (IBEA), fabrique maintenant un nouveau type de bactérie à partir d'ADN fabriqué en laboratoire. Son équipe

est en train de modifier l'ADN du *Mycoplasma genitalium*, la bactérie ayant le plus petit nombre de gènes parmi toutes les cellules vivantes. On veut réduire ce nombre aux seuls gènes nécessaires à la vie. Les chercheurs inséreront cette forme de vie minimale dans une cellule de bactérie normale dont on a retiré l'ADN. Selon le professeur Clyde Hutchison, biochimiste ayant participé au séquençement du génome du *Mycoplasma*, « L'avantage d'un organisme synthétique par rapport à la manipulation d'organismes vivants... c'est que l'on contrôle beaucoup plus les propriétés des cellules que si on s'en remettait aux mécanismes naturels. Que vos intentions soient bonnes ou mauvaises... il est plus facile de concevoir exactement ce que vous voulez. »¹⁴⁰

Grâce aux fonds versés par le département de l'Énergie (DOE) des États-Unis, Venter espère fabriquer des organismes synthétiques capables de produire de l'énergie et d'atténuer les changements climatiques. Venter et le DOE soulignent les applications plus larges de la vie artificielle, notant ses avantages éventuels : « développer de meilleurs vaccins et des stratégies plus sûres de thérapie génique; améliorer le rendement des cultures agricoles en augmentant leur résistance aux maladies; améliorer les stratégies de lutte contre les maladies agricoles et mieux déceler et contrer d'éventuels agents biologiques dangereux qui menaceraient la sécurité du pays.¹⁴¹ Venter laisse entendre qu'à la fin 2004, il dévoilera un génome artificiel tout à fait novateur, plus gros qu'un virus mais plus petit qu'une bactérie.¹⁴²

À l'été 2003, ETC Group rapportait que des chercheurs de l'Université de la Floride travaillaient à la création d'un nucléotide, l'homologue

artificiel de l'un des quatre composants chimiques de l'ADN (A, G, C et T).¹⁴³ D'autres chercheurs de l'Université de la Floride ont réussi depuis à ajouter une deuxième lettre artificielle – ce qui fait donc six en tout – et, fait encore plus remarquable, ils ont pu inciter la nouvelle molécule d'ADN à s'autorépliquer.¹⁴⁴ L'équipe de recherche a réussi à faire évoluer son ADN artificiel sur cinq générations. Selon le principal chercheur, cette percée « nous permettra de mieux détecter le matériel génétique indésirable dans les virus, les bactéries et même les agents de la guerre biologique. Cela aiguïsera aussi notre faculté de détecter les défauts dans l'ADN naturel, dont ceux qui causent les cancers et les maladies génétiques. »¹⁴⁵ Ainsi que l'a fait observer ETC Group l'an dernier, de deux choses l'une : ces avancées peuvent constituer la découverte la plus importante depuis le séquençement de l'ADN, ou engendrer la création de produits aussi utiles à la guerre biologique qu'à la détection des maladies et la création de nouveaux médicaments.

La gelée verte : La *gelée verte* est le terme utilisé par ETC Group pour décrire les risques potentiels associés à la biologie synthétique ou aux nanobiotechnologies. Des chercheurs amènent des organismes vivants à réaliser des fonctions mécaniques précisément parce qu'ils peuvent s'autoassembler et s'autoreproduire. Ils veulent dompter les cellules vivantes et obtenir des organismes vivants sur mesure affectés à des tâches biochimiques données, comme la production d'hydrogène ou la fonction d'agent séquestrant de l'anhydride carbonique. Mais si les nouvelles formes de vie, notamment celles qui sont conçues pour fonctionner de manière autonome

« D'ici à peu près cinq ans, je pense que les systèmes génétiques artificiels que nous avons conçus soutiendront une forme de vie artificielle capable de se reproduire, d'évoluer, d'apprendre et de réagir à la transformation de l'environnement. »

– Professeur Steven Benner, chimiste, Université de la Floride¹⁴⁶

« S'il est vrai que les biologistes sont sur le point de synthétiser de nouvelles formes de vie, cela comporte d'énormes risques d'abus ou de désastre involontaire. »

Philip Ball, *Nature*,
7 octobre 2004.¹⁴⁷

Malgré les appels favorables à une nouvelle rencontre du même type, ETC Group estime qu'Asilomar ne constitue pas un modèle acceptable de nos jours.

dans l'environnement, se révélaient difficiles à contrôler ou à contenir? Qu'arrive-t-il si quelque chose se détraque? C'est le spectre de la gelée verte.

Asilomar+30? Certains chercheurs en biologie synthétique commencent à admettre les risques potentiels de leur travail et ses implications éthiques. Un éditorial récent de *Nature* émet l'hypothèse qu'il est peut-être temps de tenir un autre *Asilomar* pour démontrer à la face du monde que les membres de la communauté de la biologie synthétique sont « disposés à consulter et à peser soigneusement les risques – réels ou perçus comme tels – afin de tempérer leurs interventions en conséquence. »¹⁴⁸

De quoi parle-t-on ici? En 1974, un comité de biologistes et chimistes moléculaires a été mis sur pied par la National Academy of Sciences des É.-U. pour répondre aux inquiétudes croissantes sur les risques associés aux travaux de génie génétique en laboratoire. Le comité a émis une lettre ouverte en juillet 1974, appelant à un moratoire volontaire et partiel sur les expériences de génie génétique en laboratoire, et proposé une rencontre scientifique internationale sur les biorisques. Asilomar est le nom du centre de conférences californien où se sont réunis les célèbres biologistes moléculaires en février 1975. Les scientifiques ont établi des lignes directrices pour régir la recherche en génie génétique et recommandé la levée du moratoire partiel. Malgré les appels favorables à une nouvelle rencontre du même type, ETC Group estime qu'Asilomar ne constitue pas un modèle acceptable de nos jours. Il y a trente ans, Asilomar a réuni seulement une élite scientifique triée

sur le volet, qui a soutenu l'autoréglementation du génie génétique pour repousser le spectre d'une intervention de l'État; la discussion a porté uniquement sur les questions relatives aux dangers et à la sécurité – excluant de manière explicite les enjeux plus larges sur le plan de l'éthique et de l'impact social.¹⁴⁹ Selon Susan Wright, historienne à l'Université du Michigan, plusieurs journalistes qui ont couvert Asilomar ont conclu que cette rencontre « avait été conçue pour endiguer la participation publique plutôt que la favoriser. »¹⁵⁰

Il est certes urgent de traiter des implications sociales et éthiques, ainsi que des dangers potentiels associés à la biologie synthétique et à la nanobiotechnologie – mais ce serait une erreur de réserver les discussions à un aréopage d'experts, ou d'aborder seulement l'effet des nanotechnologies sur l'environnement, la santé et la sécurité. De même, toute tentative d'éduquer les citoyens ou de les consulter seulement pour améliorer les relations publiques ou prévenir l'adoption d'un contrôle réglementaire se retournera inévitablement contre ses auteurs. Dans un rapport récent, *See-Through Science*, Demos (R.-U.) estime que la population doit participer aux enjeux relatifs à la science et à la technologie, non pas seulement pour étoffer les décisions prises par l'État – mais pour en déterminer activement les orientations.¹⁵¹

II. ALIMENTS ET NUTRITION – LA NANO QU’ON NOUS FAIT AVALER

Introduction : On trouve déjà sur le marché une poignée d’aliments et de produits alimentaires contenant des nanoadditifs invisibles. Des centaines d’entreprises font de la recherche-développement (RD) sur l’utilisation des nanotechnologies pour concevoir, transformer et emballer les aliments et nutriments, et les apporter jusque dans nos chariots d’épicerie et dans nos assiettes. Cela intéresse des géants du secteur des aliments et boissons aussi bien que de minuscules entreprises en démarrage.

Selon Jozef Kokini, directeur du Center for Advanced Food Technology à l’Université Rutgers (New Jersey, É.-U.), « tous les géants de l’alimentation ont un programme en nanotechnologie ou comptent en développer un. »¹⁵³ Dans un rapport produit en 2004, *Nanotechnology in Food and Food Processing Industry Worldwide*, Helmut Kaiser Consultancy prédit que le marché de la nanoalimentation fera un bon spectaculaire, passant des 2,6 milliards \$ actuels à 7 milliards \$ en 2006, puis à 20,4 milliards \$ en 2010.¹⁵⁴ En plus de la poignée de nanoaliments déjà sur le marché, plus de 135 applications nanotechnologiques en sont à divers stades de développement dans le secteur alimentaire (notamment en nutrition et dans les cosmétiques).¹⁵⁵ Selon Helmut Kaiser, plus de 200 entreprises dans le monde font de la RD sur des applications nanotechnologiques dans le secteur de l’alimentation. Parmi les 20 plus actives, cinq figurent sur la liste des dix géants des aliments et boissons. On y trouve aussi la plus grande firme alimentaire d’Australie ainsi que les plus

gros producteurs de fruits de mer et d’aliments transformés au Japon. (Voir l’annexe 1).

Malgré l’enthousiasme évident pour les nanosciences et ses applications dans la conception et la transformation des aliments, l’industrie reste plutôt conservatrice et n’est guère loquace sur le sujet. La plupart des représentants de l’industrie rencontrés par ETC Group n’ont pas voulu préciser l’importance des fonds qu’ils y consacrent ni citer le nom de leurs partenaires. Nous avons parlé à des scientifiques à l’emploi de géants tels que Kraft et Nestlé, ainsi qu’à des chercheurs universitaires et des représentants de petites nanoentreprises en démarrage (ce sont souvent les mêmes personnes). À la suite du rejet massif des aliments génétiquement modifiés, on comprend que l’industrie alimentaire ne se vante pas de faire de la RD sur des produits alimentaires *atomiquement modifiés*. « L’industrie alimentaire est plus conservatrice que d’autres secteurs [qui peuvent appliquer les nanotechnologies] comme IBM », explique Gustavo Larsen, professeur de génie chimique et ex-consultant chez Kraft.¹⁵⁶

« À mon avis, il ne manque pas d’occasions à saisir et elles sont souvent plus réalisables [dans le secteur alimentaire]. On peut fabriquer des nanoparticules et les utiliser dans les aliments – sans devoir les assembler au préalable. »¹⁵⁷ Quand on lui demande de prédire les premiers produits issus de la RD en nanotechnologie alimentaire, Larsen répond que dans un premier temps, les consommateurs vont probablement voir des nanoemball-

« Tous les géants de l’alimentation ont un programme en nanotechnologie ou comptent en développer un. »¹⁵³

– Jozef Kokini, président du département de Science alimentaire et directeur du Center for Advanced Food Technology, Université Rutgers

« Il est bien possible que des produits nanos se retrouvent dans notre assiette – c’est sans doute une simple question de temps. »

– *Food Technology*, décembre 2003¹⁵²

Produire des aliments par fabrication moléculaire : c'est le but le plus ambitieux de la nanotechnologie, et le moins susceptible de se réaliser de sitôt.

lages plutôt que des nanoproduits alimentaires : « Il y a fort à parier qu'on va commencer par les emballages. »

Des aliments issus de la fabrication moléculaire

Certains prétendent qu'à l'avenir, le génie moléculaire permettra de *cultiver* les aliments en quantités infinies, sans sol, sans semences, sans fermes ni agriculteurs – et d'éradiquer du même coup la faim dans le monde. Voyez plutôt :

- « Des nanomachines pourraient créer des aliments en quantités illimitées par synthèse à l'échelle atomique, ce qui éradiquerait la faim. » – Carmen I. Moraru et *al.*, professeure en science de l'alimentation, Université Cornell (É.-U.), au sujet de l'impact éventuel de la nanotechnologie sur la science de l'alimentation¹⁵⁸
- « Grâce à la biosynthèse moléculaire et à la régénération robotique, la production sera sans doute vite remplacée. Nous n'aurons alors plus besoin de systèmes centralisés pour cultiver les aliments et les distribuer. Aux tout premiers stades de l'assemblage moléculaire, nous construirons des serres sur mesure, radicalement différentes des serres actuelles, et la production locale ou sur mesure sera assurée par des millions de personnes qui ne connaissent rien à l'agriculture... Au stade suivant de la production moléculaire, la synthèse des aliments se fera directement, sans cultures ni bétail. » – Douglas Mulhall, *Our Molecular Future*
- « Qu'est-ce qui empêche l'être humain d'imiter les procédés de la nature? Plutôt que d'aller chercher les protéines et les hydrates de carbone dans les céréales et le bétail, des nanomachines (les *nanobots*) pourront assembler le steak ou la farine à partir des atomes de

carbone, d'hydrogène et d'oxygène présents dans l'air sous forme d'eau et d'anhydride carbonique. Des nanobots intégrés aux aliments pourront circuler dans le système sanguin pour nettoyer les dépôts de cholestérol et éliminer les agents pathogènes. » – Dr Marvin J. Rudolph, directeur, DuPont Food Industry Solutions, tiré de *Food Technology*, janvier 2004.

Produire des aliments par fabrication moléculaire¹⁵⁹ : c'est le but le plus ambitieux de la nanotechnologie, et le moins susceptible de se réaliser de sitôt. Pour ceux qui suivent depuis vingt ans le débat sur les biotechnologies, le slogan selon lequel une nouvelle technologie va nourrir les affamés n'est rien d'autre qu'une rengaine vide de sens. Les nanotriumphalistes voient l'avenir à travers les lunettes roses (et vertes) de l'industrie biotechnologique : désormais, clament-ils, c'est la nanotechnologie qui va éradiquer la faim en améliorant le rendement agricole et la teneur nutritive des aliments, tout en éliminant les risques d'allergie alimentaire.¹⁶⁰

La conclusion d'ETC Group, c'est qu'au stade actuel, la RD suit la même trajectoire en nanoalimentation que dans les autres secteurs, soit la mise au point dans un premier temps d'applications relatives aux capteurs et matériaux *intelligents*. Il faudra sans doute patienter un peu avant qu'émergent des applications plus révolutionnaires – comme la modification atomique des aliments. Mais il vaut la peine de noter qu'une poignée de scientifiques ambitieux essaient de créer des aliments en laboratoire.

Des ingénieurs tissulaires du Touro College de New York et de l'Université de médecine de la Caroline du Sud (É.-U.) essaient de cultiver de la viande en *faisant mariner* des

myoblastes (cellules musculaires) de poisson dans un nutriment liquide pour inciter les cellules à se diviser et se multiplier d'elles-mêmes. Le but premier est de nourrir les astronautes dans l'espace.¹⁶¹

Emballage

De nos jours, l'industrie axe sa RD en nanotechnologie sur l'emballage et le contrôle des aliments. L'intégration de nanomatériaux peut rendre l'emballage *intelligent*, c'est-à-dire qu'il peut réagir aux conditions de l'environnement, s'autoréparer ou avertir le consommateur s'il détecte une contamination ou la présence d'agents pathogènes. Selon des analystes de l'industrie, le marché actuel des emballages « actifs, contrôlés et intelligents » dans le secteur des aliments et boissons aux É.-U. atteindrait 38 milliards \$ – pour dépasser les 54 milliards \$ d'ici 2008.¹⁶⁷ Ces quelques exemples donnent un aperçu des nanoapplications dans le domaine.

- Le géant de la chimie Bayer produit une pellicule plastique transparente (Durethan) contenant des nanoparticules d'argile. Dispersées dans la pellicule, elles empêchent l'oxygène, l'anhydride carbonique et l'humidité d'altérer la viande ou d'autres aliments.¹⁶⁸ La nanoargile rend aussi le plastique plus léger, plus solide et plus résistant à la chaleur.

- Jusqu'à tout récemment, l'industrie ne pouvait pas embouteiller la bière dans des contenants plastiques (pour réduire les frais de transport) – parce que cela affectait la conservation et la saveur du produit. Nanocor, une filiale d'Amcol International Corp., produit aujourd'hui des nanocomposites

destinés à des bouteilles de bière en plastique d'une durée de conservation de six mois.¹⁶⁹ L'incorporation de nanocristaux dans le plastique a permis aux chercheurs de créer une barrière moléculaire qui ralentit la fuite d'oxygène. Nanocor et Southern Clay Products sont à mettre au point une bouteille de bière en plastique d'une durée de conservation de 18 mois.¹⁷⁰

- Kodak, célèbre fabricant de films photographiques, utilise la nanotechnologie dans la conception d'un emballage alimentaire antimicrobien qui sera lancé en 2005. Kodak développe aussi un autre emballage actif qui absorbe l'oxygène, ce qui préserve la fraîcheur des aliments.¹⁷¹

- Des scientifiques de chez Kraft, de l'Université Rutgers et le l'Université du Connecticut travaillent à la mise au point de pellicules à nanoparticules et autres emballages à capteurs intégrés capables de détecter les agents pathogènes d'origine alimentaire. Qualifiés de *langues électroniques*, les capteurs peuvent détecter la présence d'une partie par billion de substances données et changer la couleur de l'emballage pour avertir le consommateur que l'aliment est contaminé ou qu'il n'est plus frais.¹⁷²

« Demain, nous concevrons des aliments en modelant les atomes et les molécules. La nanobiotechnologie et l'infonanobio exerceront un impact profond sur l'industrie des aliments et de la transformation alimentaire. »
– Helmut Kaiser, expert-conseil et analyste du marché en nanotechnologie



Pour ceux qui suivent depuis vingt ans le débat sur les biotechnologies, le slogan selon lequel une nouvelle technologie va nourrir les affamés n'est rien d'autre qu'une rengaine vide de sens.

- Des chercheurs néerlandais vont encore plus loin avec la mise au point d'un emballage intelligent qui libère un agent de conservation quand l'aliment commence à se détériorer. Cet emballage à *libération sur commande* fonctionne à partir d'un biocommutateur nanotechnologique.¹⁷³

- La mise au point de petits capteurs capables de détecter les agents pathogènes d'origine alimentaire ne servira pas seulement à étendre

l'emprise de l'agriculture industrielle et de la transformation alimentaire à grande échelle. Aux yeux de l'armée des États-Unis, c'est une priorité en matière de sécurité nationale.¹⁷⁴ Dans l'état actuel de la technologie, il faut deux à sept jours pour tester la contamination microbienne dans les aliments, et les capteurs existants sont trop volumineux pour être transportés aisément.¹⁷⁵ Plusieurs groupes de chercheurs des É.-U. sont en train de développer des

Rappel historique à la veille d'un anniversaire

On régit la sécurité alimentaire depuis l'époque babylonienne, mais l'ère moderne de la réglementation gouvernementale remonte à environ un siècle. En 1906, le gouvernement des É.-U. a adopté le Pure Food and Drug Act.¹⁶² Pour contrer les magouilles de toutes sortes, le Congrès des É.-U. a voulu établir des règles de base qui régiraient la qualité des aliments et de l'agriculture. De toute évidence, la réglementation de la salubrité des aliments et des technologies connexes a connu des hauts et des bas tout au long de son histoire.

Fin des années 1940 : Le boom chimique de l'après-guerre généralise l'utilisation agricole du DDT et d'autres pesticides partout dans le monde. Les produits chimiques sont d'abord présentés comme un miracle pour la santé et la production, mais les services de réglementation finissent par réaliser que s'ils tuent les mauvaises herbes et les insectes, ils peuvent aussi tuer les êtres humains. Le DDT est retiré du marché dans les années 1970, en même temps que plusieurs de ses proches cousins.

Années 1960 et 1970 : On retire du marché certains colorants, agents de conservation, additifs et édulcorants chimiques aussi vite qu'on les y avait mis, quand les services de réglementation découvrent leurs propriétés cancérigènes.

Fin des années 1970 : En 1978, le gouvernement des É.-U. découvre que le plus grand laboratoire privé chargé d'évaluer les nouveaux pesticides et autres produits chimiques, Industrial Bio-Test Ltd., falsifie systématiquement depuis dix ans les résultats des tests effectués sur les animaux, ce qui remet en question l'innocuité de plusieurs centaines de produits chimiques utilisés en agriculture.¹⁶³ Trois des plus hauts dirigeants de la société sont par la suite reconnus coupables de fraude. Plutôt que de retirer tous les pesticides en raison de leur fausse innocuité, les services de réglementation des É.-U. en autorisent plusieurs, retirant seulement ceux dont le caractère nocif a été clairement démontré.¹⁶⁴

Années 1980 et 1990 : La recherche sur les produits chimiques perturbateurs du système endocrinien indique qu'un grand nombre de produits

biocapteurs capables de détecter les agents pathogènes vite et facilement, estimant que des *supercapteurs* pourraient jouer un rôle crucial en cas d'attaque terroriste sur les réserves alimentaires. Grâce à des fonds du USDA et de la National Science Foundation, des chercheurs de l'Université Purdue travaillent à la mise au point d'un capteur à main capable de détecter instantanément une bactérie donnée dans n'importe quel échantillon. Ils ont créé une jeune entreprise, BioVitesse.¹⁷⁶

Des dispositifs capables de détecter les agents pathogènes d'origine alimentaire peuvent faciliter le contrôle de l'approvisionnement alimentaire. Mais les capteurs et l'emballage intelligent ne régleront pas les problèmes inhérents à la production alimentaire industrielle, source de contamination des aliments : chaînes de (dé)montage toujours plus rapides, mécanisation accrue, réduction de la main-d'œuvre et des salaires, diminution du nombre d'inspecteurs, déresponsabilisation

chimiques agricoles, additifs alimentaires et produits pharmaceutiques – notamment les hormones de croissance – peuvent nuire à la santé.¹⁶⁵ Plusieurs chercheurs associent l'augmentation croissante des cas de cancer, d'asthme, de problèmes de déficit de l'attention et autres désordres neurologiques à l'introduction de produits chimiques dans la chaîne alimentaire ou l'environnement depuis la Deuxième Guerre mondiale.¹⁶⁶

1996 : Quand les É.-U. autorisent la vente de cultures génétiquement modifiées (GM), le tollé des consommateurs en Europe et dans plusieurs pays du Sud incite la Convention des Nations unies sur la diversité biologique à entamer des discussions sur un protocole relatif à la biosécurité – un protocole assez faible est adopté sept ans plus tard, en 2003.

1996 : Le Royaume-Uni admet qu'une variante de l'encéphalopathie spongiforme bovine (maladie de la vache folle) s'est transmise à l'être humain – s'ensuit un abattage massif du cheptel britannique. Les services de réglementation et les scientifiques avaient cru, à tort, que la présence de farines animales dans la moulée ne présentait aucun danger.

Fin des années 1990 : Les multinationales du tabac – qui essuient des poursuites de plusieurs milliards de dollars – finissent par admettre que le tabac est nocif pour la santé... mais seulement après avoir assuré leurs arrières en se diversifiant dans la transformation des aliments et boissons.

2000 : Foudroyés par le tollé des consommateurs contre les aliments GM, plusieurs détaillants et fabricants de produits alimentaires refusent ces produits, jurant qu'ils n'iront pas au front pour Monsanto.

2002 : L'Organisation mondiale de la santé sonne l'alerte à l'obésité mondiale. La malbouffe et le style de vie qui l'accompagne sont en train de créer une pandémie d'obésité et de surpoids dans la classe moyenne, tant dans le Nord que dans le Sud.

2004 : Les agriculteurs et les consommateurs apprennent qu'on est en train de mettre au point et de commercialiser des nanoparticules dans la production agricole, l'élevage et la transformation alimentaire, en l'absence de toute réglementation relative à la taille.

Des dispositifs capables de détecter les agents pathogènes d'origine alimentaire peuvent faciliter le contrôle de l'approvisionnement alimentaire. Mais les capteurs et l'emballage intelligent ne régleront pas les problèmes inhérents à la production alimentaire industrielle, source de contamination des aliments.

Des capteurs améliorés sont-ils la solution idéale? « Si des terroristes avaient contaminé avec une souche mortelle d'E. coli 19 millions de livres de viande distribuées sur la moitié du territoire [des États-Unis], nous aurions crié au meurtre. Mais comme c'est l'œuvre d'une firme du Fortune 100, nous continuons d'en acheter et d'en donner à nos enfants. »

– Diane Carmen, au sujet d'un article du *Denver Post* (26 juillet 2002) sur le rappel de bœuf contaminé par ConAgra

des entreprises et de l'État, distance de plus en plus grande entre producteur, préparateur et consommateur. Le consommateur a déjà la responsabilité de cuire sa viande assez longtemps pour tuer les agents pathogènes; on lui demandera bientôt de jouer à l'inspecteur des viandes pour permettre à l'industrie de continuer à réduire ses frais généraux consacrés à la salubrité tout en augmentant ses profits.

Étiquetage et contrôle

Étiquettes d'identification par radiofréquence (RFID)

L'étiquette RFID est une puce (un petit circuit intégré sans fil) avec circuit radio et code d'identification intégré. Elle est supérieure aux autres étiquettes électroniques, comme les codes à barres CUP apposés sur la plupart des produits : elle est assez petite pour être intégrée au produit plutôt qu'à l'emballage; elle peut contenir beaucoup plus d'information; on peut la balayer à distance (et à travers des matériaux tels que les boîtes ou autres emballages); on peut balayer plusieurs étiquettes à la fois. On utilise déjà les étiquettes RFID (fixées à l'oreille ou implantées) pour localiser le bétail. La puce n'est pas plus grosse qu'une poussière – plus proche de l'échelle micro que nano, quoiqu'elle comprenne des composantes nanos. Les créateurs de cette technologie rêvent d'un monde où l'on pourra « tout identifier, n'importe où, automatiquement ». ¹⁷⁷

Les étiquettes RFID sur les emballages alimentaires peuvent remplir des fonctions assez simples – permettre aux caissiers du supermarché d'enregistrer d'un seul coup tous les achats d'un client ou avertir le consommateur que le produit a atteint sa date de péremption. Les étiquettes RFID ne font pas l'una-

nimité, parce qu'elles peuvent aussi transmettre de l'information une fois que le client a quitté le supermarché. Les défenseurs de la vie privée redoutent que les commerçants en profitent pour recueillir encore plus de données sur le comportement des consommateurs. Ils veulent que les étiquettes soient désactivées à la caisse (*tag-killing*) pour empêcher la cueillette ou le stockage des données. Wal-Mart aux É.-U. et TESCO au Royaume-Uni ont déjà testé l'étiquetage RFID sur certains produits dans certaines de leurs succursales. ¹⁷⁸

Le *nanocode à barres* est un dispositif d'étiquetage ou de contrôle qui fonctionne à peu près de la même façon que le code CUP, mais à l'échelle nano. Nanoplex Technologies a mis au point un type de nanocode à barres, une nanoparticule formée de bandes métalliques dont l'encodage est déterminé par les variations dans la disposition des bandes. ¹⁷⁹ Nanoplex modifie la longueur et la largeur des particules, ainsi que le nombre, la largeur et la composition de chaque bande, ce qui permet des milliards de combinaisons. Jusqu'à présent, on a intégré ces codes à barres à de l'encre, des tissus, des vêtements, du papier, des explosifs et des bijoux. On peut lire le code à l'aide d'un lecteur optique à main ou d'un microscope qui mesure la réflectivité des bandes métalliques. Ainsi, l'or et l'argent ne reflètent pas la lumière de la même façon, et ce sont les motifs de réflexion qui confèrent à chaque particule un code unique. Outre l'or et l'argent, Nanoplex utilise le platine, le palladium, le nickel et le cobalt.

Nanoplex produit aussi des étiquettes *Senser* (Silicon Enhanced Nanoparticles for Surface Enhanced Raman Scattering) – des nanoparticules métalliques de 50 nm à code

unique semblables aux nanocodes à barres. On peut aussi incorporer les étiquettes Senser à l'emballage et les balayer par lecteur automatisé jusqu'à un mètre de distance – on peut les lire à la caisse, comme les RFID, ou de façon plus discrète.¹⁸⁰

En étiquetant les emballages, on peut contrôler les aliments de la ferme jusqu'à la fourchette – pendant la transformation, le transport, au restaurant, sur les rayons du supermarché et peut-être un jour après leur achat par le consommateur. Si on y ajoute des nanocapteurs, on pourra surveiller la présence d'agents pathogènes, les variations de température, les fuites, etc.

Les nanoaliments – Qu'est-ce qu'on nous mijote?¹⁸¹

En 1999, Kraft Foods, la filiale d'Altria (anciennement Phillip-Morris) qui vaut 34 milliards \$, a mis sur pied le premier laboratoire nanoalimentaire de l'industrie. L'année suivante, Kraft a lancé le consortium NanoteK, qui englobe 15 universités et laboratoires publics de recherche du monde entier.¹⁸² On n'y trouve aucun scientifique doté d'une formation dans le domaine alimentaire – mais plutôt un cocktail d'ingénieurs et de physiciens, de spécialistes en chimie moléculaire ou en science des matériaux.¹⁸³

Il n'y a rien de neuf à étudier l'alimentation sous l'angle du technogénie. Cela fait trente ans que des scientifiques transfèrent des gènes d'une espèce animale ou végétale à l'autre en utilisant les technologies de modification génétique (GM). Mais il y a plus de mille ans qu'on ajoute des additifs spécialement formulés pour améliorer la saveur, la texture, la couleur ou d'autres attributs. Les technologies à l'échelle *nano* vont réduire la modification des aliments

à un nouvel échelon, puisqu'elles peuvent modifier de manière spectaculaire la façon dont les aliments sont produits, cultivés, transformés, emballés, transportés... et même consommés.

Nanoadditifs alimentaires : En fait, il y a déjà des produits nanos dans les aliments même s'ils sont trop petits pour qu'on les voie – et que le consommateur n'a aucune façon de le savoir, puisqu'il n'est pas obligatoire de l'indiquer sur l'étiquette et qu'il n'y a aucune réglementation en fonction de la taille. Ainsi, BASF produit une nanoversion de caroténoïdes, une catégorie d'additifs alimentaires qui donne une couleur orange, présent à l'état naturel dans les carottes et les tomates. Certains caroténoïdes sont des antioxydants et peuvent se transformer en vitamine A dans l'organisme. BASF vend sa nanoversion de caroténoïdes à des géants de l'industrie des aliments et boissons du monde entier qui les utilisent dans la limonade, les jus de fruits et la margarine.¹⁸⁴ En nanopréparation, ils sont plus facilement absorbés par l'organisme, tout en ayant une durée de conservation accrue.¹⁸⁵ (Les ventes de caroténoïdes de BASF atteignent 210 millions \$ par année. Cela inclut la nanoversion des caroténoïdes et les autres.)¹⁸⁶

En 2002, BASF a soumis un avis GRAS (Generally Recognized as Safe, *généralement reconnu inoffensif*) pour informer la FDA qu'elle vendait un caroténoïde artificiel, le lycopène, (présent à l'état naturel dans les tomates) comme additif alimentaire. Le lycopène artificiel de BASF est une nanopréparation. Au dire de BASF, il n'a jamais été question de soumettre les nanoparticules de lycopène à des tests particuliers, et on ne l'a pas exigé parce que « BASF a démontré son innocuité dans une

En étiquetant les emballages, on peut contrôler les aliments de la ferme jusqu'à la fourchette. Si on y ajoute des nanocapteurs, on pourra surveiller la présence d'agents pathogènes, les variations de température, les fuites, etc.

ETC Group a trouvé seulement une poignée de nanoadditifs alimentaires sur le marché. Mais il est impossible d'évaluer à quel point leur usage est répandu, puisque rien n'oblige à les étiqueter en tant que tels.

série... d'évaluations toxicologiques. »¹⁸⁷ La FDA a accepté d'emblée l'avis de BASF.¹⁸⁸ Lors d'un entretien téléphonique, Robert Martin, de la FDA, a confirmé que la taille est un facteur dont on n'a pas tenu compte dans l'examen du lycopène artificiel de BASF, expliquant que « la taille proprement dite » ne constitue pas « un élément majeur » de l'examen réglementaire; on traite de la question « au cas par cas » s'il semble y avoir des implications pour la santé et la sécurité.¹⁸⁹

Est-ce inoffensif d'ajouter des nanoparticules aux aliments? En deux mots, on peut seulement dire que personne ne le sait au juste. Personne n'a encore pris le taureau par les cornes – ni les organismes de réglementation, ni la communauté

scientifique. ETC Group a trouvé seulement une poignée de nanoadditifs alimentaires sur le marché. Mais il est impossible d'évaluer à quel point leur usage est répandu, puisque rien n'oblige à les étiqueter en tant que tels. À l'instar des autres domaines soumis à la réglementation, tels que les cosmétiques et les produits chimiques, on n'a pas abordé la question de l'innocuité sous l'angle de la taille. Jusqu'ici, les fabricants ont été les seuls à s'intéresser à la taille – d'abord et avant tout pour tirer profit des avantages de l'infiniment petit (augmentation de la biodisponibilité dans les aliments et de la transparence dans les cosmétiques, par exemple).

En ce qui a trait aux additifs naturellement présents dans les aliments, on ne connaît pas clairement les effets de la taille nano sur le plan de l'innocuité. À propos de la nanoversion du lycopène, par exemple, le Dr Gerhard Gans de BASF a expliqué qu'une fois dans l'intestin, le nanolycopène artificiel se comporte de la même façon que celui d'une tomate : il est décomposé par les enzymes digestives pour passer dans le système sanguin et atteindre ensuite le foie et d'autres organes à l'état de molécules.¹⁹⁰ Autrement dit, une fois dans le courant sanguin, tous les aliments sont à l'échelle nano – qu'ils aient été au départ une tranche de tomate ou une gorgée de limonade contenant du lycopène artificiel de BASF. (Sans doute pour apaiser les craintes relatives à l'innocuité des nanoparticules, le Dr Gans a insisté sur le fait que le lycopène artificiel manipulé par les employés de BASF et vendu aux consommateurs ne se présente pas sous forme de nanoparticules. Il a expliqué qu'à cette étape, les particules forment des granules de taille micrométrique, partiellement



dissous dans le produit fini. Les enzymes digestives du consommateur finissent par ramener les particules à l'échelle nano.)

Même si l'explication selon laquelle tous les aliments sont à l'échelle nano une fois dans le sang semble logique a priori, il est important de noter que BASF a mené des tests toxicologiques sur ses lycopènes non pas parce qu'il s'agissait d'une nanopréparation, mais bien parce qu'ils étaient produits par synthèse chimique plutôt que tirés de fruits ou de légumes qui en contiennent. Si on avait déjà approuvé le lycopène synthétique en tant qu'ingrédient alimentaire, les organismes de réglementation n'auraient pas forcé BASF à tester l'innocuité de sa nanoversion. On peut donc s'inquiéter à la perspective que l'on ajoute des nanoparticules aux aliments, sans réglementation spécifique à la taille : quelles sont les autres substances déjà approuvées comme additifs alimentaires sous forme classique dont on prépare actuellement des nanoversions dotées de nouvelles propriétés aux conséquences inconnues? On doit s'inquiéter notamment des nanopréparations de substances qui ne sont pas naturellement présentes dans les aliments.

Examinons, par exemple, le bioxyde de titane (TiO₂) : le TiO₂ a été approuvé comme colorant alimentaire par la FDA en 1966, à la seule condition de ne pas « constituer plus de 1 % du poids ». ¹⁹¹ (Le TiO₂ à l'échelle micro donne un blanc éclatant aux glaçages des biscuits et des gâteaux). La FDA a aussi approuvé le TiO₂ comme « substance de qualité alimentaire », autrement dit, il n'a aucun effet nocif s'il est incorporé dans un emballage en contact avec l'aliment. On a utilisé le TiO₂ pour blanchir le papier utilisé dans l'emballage d'aliments. ¹⁹²

Les progrès de la nanotechnologie permettent désormais les nanopréparations de TiO₂. Les changements quantiques inhérents à la réduction de la taille présentent parfois des avantages. Mais certaines nouvelles propriétés du TiO₂ – telles que la réactivité chimique accrue – ont posé problème dans les applications où la nanosubstance est en contact étroit avec le corps humain (par exemple, dans les cosmétiques). ¹⁹³ Même si elles deviennent transparentes (plutôt que blanches), les nanoparticules de TiO₂ bloquent les rayons ultraviolets (UV) aussi efficacement que leurs grandes sœurs. Le TiO₂ transparent à l'échelle nano est utilisé dans les pellicules plastiques pour protéger les aliments des rayons UV. Comme le TiO₂ a déjà été approuvé comme colorant et comme substance de qualité alimentaire, son utilisation à l'échelle nano dans les aliments n'implique aucun nouveau test d'innocuité. Et les limites établies selon le poids dans les années 1960 ne sont pas forcément pertinentes pour les nanopréparations actuelles, puisqu'une infime quantité peut produire des effets considérables.

L'oxyde de silicium (SiO₂), également connu sous le nom de silice, est un autre exemple d'additif alimentaire approuvé par la FDA qui n'est pas présent dans les aliments sous forme naturelle. La silice est une substance courante dans la nature – le quartz et le sable des plages sont des formes presque pures de silice cristallisée. ¹⁹⁴ Outre sa forme cristallisée, la silice existe dans la nature sous forme amorphe (la terre de diatomée, par exemple). C'est cette forme qui est produite de manière synthétique et approuvée par la FDA comme agent antiagglomérant. ¹⁹⁵ (La silice amorphe porte aussi le nom de *silice sublimée*.) La réglementation stipule

Quelles sont les autres substances déjà approuvées comme additifs alimentaires sous forme classique dont on prépare actuellement des nanoversions dotées de nouvelles propriétés aux conséquences inconnues? On doit s'inquiéter notamment des nanopréparations de substances qui ne sont pas naturellement présentes dans les aliments.

Il existe une forme de népotisme des particules qui peut avoir des conséquences graves : si Big Brother passe les tests d'innocuité, son petit frère n'a même pas besoin de se présenter à l'examen.

que la teneur en silice ne doit pas dépasser 2 % du poids de l'aliment. On trouve sur le marché de la silice sublimée de qualité alimentaire dont les particules sont de taille nanométrique.¹⁹⁶ Une fois de plus, on ne peut pas repérer les produits alimentaires qui contiennent de la nanosilice synthétique, puisqu'il n'y a aucune exigence en matière d'étiquetage.

Mars inc., l'une des plus grosses firmes alimentaires au monde, a obtenu en 1998 le brevet US 5 741 505 sur des « produits comestibles à enrobage inorganique ». L'enrobage crée une barrière qui empêche l'oxygène ou l'humidité d'atteindre le produit, ce qui accroît sa durée de conservation. Selon le brevet, l'invention empêche le bonbon de devenir collant, les biscuits de rassir, les céréales de ramollir dans le lait, etc. L'enrobage peut être fait à partir de divers composés chimiques, parmi lesquels on cite le SiO₂ et le TiO₂. Au dire des inventeurs, l'enrobage doit être extrêmement mince en raison des exigences de la réglementation et pour optimiser la texture et la *sensation en bouche*. Le brevet mentionne que l'enrobage idéal fait 0,5 à 20 nm d'épaisseur. Même si l'enrobage peut être constitué d'un matériau inorganique, les inventeurs préfèrent utiliser une substance ayant déjà reçu la certification GRAS de la FDA, comme le SiO₂ et le TiO₂. La demande de brevet présente un exemple de l'invention, alors qu'on a recouvert des M&M, des Twix et des Skittles d'un nano-enrobage inorganique.

ETC Group n'est pas en mesure d'évaluer l'innocuité des nanoadditifs alimentaires. Nous voulons cependant souligner le vide réglementaire : dans l'état actuel des choses, la taille n'a pas d'importance et les nanopréparations ne font

l'objet d'aucun examen réglementaire particulier. C'est une forme de népotisme des particules qui peut avoir des conséquences graves : si Big Brother passe les tests d'innocuité, son petit frère n'a même pas besoin de se présenter à l'examen.

Transport adapté

L'industrie alimentaire veut concevoir des aliments plus *fonctionnels* – entendons par là plus nutritifs (ou perçus comme tels) ou qui vont au-delà de leur fonction biologique, fournir de l'énergie sous forme de calories. Plusieurs entreprises estiment que les nanotechnologies peuvent leur faciliter la tâche et elles se concentrent sur le *transport*.

Bien peu de gens se préoccupent du transport des aliments (à moins d'attendre le livreur de pizza à l'autre bout de la ville) : on mord, on mâche, on avale et le tube digestif se charge du reste. Mais pour profiter de ce qu'on ingère – la vitamine C dans une pomme ou le lycopène synthétique dans la limonade) – le nutriment doit se rendre à bon port dans l'organisme et être encore actif une fois rendu à destination.¹⁹⁷ C'est tout un défi de contrôler et de manipuler le transport des nutriments – les profits seront énormes pour qui saura le relever. Selon des analystes de l'industrie, aux É.-U. seulement, le marché des aliments fonctionnels (ou alicaments) qui contiennent des nutriments dotés de propriétés médicales – valait 23 milliards \$ en 2003 et il dépassera les 40 milliards \$ d'ici 2008.¹⁹⁸

En décembre 2000, ETC Group a présenté les efforts de l'industrie en vue de développer une nouvelle génération de produits biotechnologiques, nutraceutiques génétiquement modifiés et autres

aliments, capables d'offrir au consommateur des avantages réels (ou présentés comme tels).¹⁹⁹ Éclaboussés par l'énorme controverse sur les cultures GM, la plupart des nutraceutiques GM n'ont jamais abouti. La nanotechnologie pourra-t-elle réussir là où la biotechnologie a échoué?

Au même titre que les géants des produits pharmaceutiques, de l'agrochimie et des cosmétiques, l'industrie des aliments et boissons expérimente les nanocapsules comme vecteurs des ingrédients actifs. L'une des façons de préserver l'ingrédient actif, c'est de le protéger par une *enveloppe*. Elle peut être conçue pour se dissoudre, ou l'ingrédient actif peut se diffuser à travers ses parois en présence d'un stimulus donné. Aux É.-U. seulement, on utilise déjà plusieurs centaines de types de microcapsules comme additifs alimentaires,²⁰⁰ dont certains pour la libération contrôlée des ingrédients actifs. George Weston Foods, en Australie, vend une version de son fameux pain Tip Top appelée *Tip Top-up*, qui contient des microcapsules d'huile de thon riche en oméga-3. Comme l'huile est contenue dans une microcapsule, le consommateur n'en détecte pas le goût et elle est libérée dans l'estomac au moment de la digestion. On utilise aussi cette technologie dans le yogourt et les aliments pour bébés.

Des *nanocapsules* sont sur la table à dessin de plusieurs entreprises, des plus grandes (Unilever, Kraft) aux plus petites.

- Des chercheurs de la Hebrew University à Jérusalem ont créé une entreprise, Nutralease. Ils ont demandé un brevet²⁰¹ sur une nanostructure autoassemblée capable de trans-

porter des composés actifs dans l'organisme. Selon la demande de brevet, le *nanovecteur* peut être dilué dans l'eau ou dans l'huile sans que cela affecte ses ingrédients actifs. Les nanovecteurs sont déjà sur le marché dans une huile de canola ayant la propriété de réduire le taux de cholestérol.²⁰² Nutralease vient de conclure une entente avec une entreprise du secteur des viandes qui veut rehausser le côté santé de ses hot dogs, et elle en négocie une autre avec un fabricant de crème glacée.²⁰³

- Royal BodyCare, une entreprise du Texas (É.-U.), a créé des *nanocapsules* (et demandé une marque de commerce sur le nom) – à partir d'un autre type d'enveloppe qui transporterait « de minuscules et puissants agrégats de minéral censés accroître l'absorption des nutriments dans les cellules »,²⁰⁴ Royal BodyCare classe ces particules nanocapsules dans sa gamme de suppléments alimentaires SuperFoods.

ETC Group n'est pas en mesure d'évaluer l'innocuité des nanoadditifs alimentaires. Nous voulons cependant souligner le vide réglementaire : dans l'état actuel des choses, la taille n'a pas d'importance et les nanopréparations ne font l'objet d'aucun examen réglementaire particulier

Au téléjournal: Les chaînes de restauration rapide s'attaquent à l'obésité



Au même titre que les géants des produits pharmaceutiques, de l'agrochimie et des cosmétiques, l'industrie des aliments et boissons expérimente les nanocapsules comme vecteurs des ingrédients actifs.

• BioDelivery Sciences International (BDSI) a mis au point et fait breveter des *nanocochléates* extraits du soja (non génétiquement modifié, s'empresse-t-on de préciser!) et du calcium. Ces nanoparticules en spirale ne dépassant pas 50 nm de diamètre pourraient transporter et administrer directement aux cellules des composés pharmaceutiques et nutriments tels que les vitamines, les lycopenes et les oméga-3. La société affirme que ses nanocochléates peuvent enrichir d'oméga-3 les gâteaux, les muffins, les pâtes alimentaires, les soupes et les biscuits, sans en altérer le goût ni l'arôme.²⁰⁵ On n'a encore commercialisé aucun produit contenant ces systèmes d'administration des cochléates, mais la société cherche activement des clients intéressés à obtenir une licence d'exploitation. « Des entreprises [du secteur alimentaire] démontrent beaucoup d'enthousiasme! » affirme Raphael Mannino, principal responsable scientifique chez BDSI.²⁰⁶ Mannino a dit à ETC Group qu'il ignorait encore les tracasseries réglementaires à surmonter avant de pouvoir commercialiser son système d'administration des nutriments. « Personne n'en sait trop rien pour le moment », ajoute-t-il.²⁰⁷ Avant d'aller plus loin, BDSI doit trouver le moyen de manufacturer à grande échelle la technologie de nanoencochléation. Selon le scénario le plus optimiste, Mannino estime que ses nanocochléates « pourraient se retrouver dans des aliments d'ici un an. »

• Grâce à des fonds versés par le USDA, LNKChemsolutions est à mettre au point des nanocapsules de polymères comestibles qui préviennent l'altération de la saveur et de l'arôme des molécules alimentaires. On veut accroître la durée de

conservation de produits alimentaires fragiles, sans préciser lesquels.²⁰⁸ LNK Chemsolutions a été créée par le Dr Gustavo Larsen, professeur de génie chimique à l'Université du Nebraska.

• D'autres entreprises tentent d'utiliser les nanotechnologies pour créer des aliments *interactifs* administrés *sur demande*. Le consommateur pourra choisir – selon ses préférences esthétiques, ses besoins nutritifs ou sa lubie du moment – les composants à activer et à administrer. Les scientifiques du consortium NanoteK de Kraft sont en train de développer des nanocapsules dont les parois éclatent à diverses hyperfréquences, ce qui permettra au consommateur d'activer des saveurs ou des couleurs nouvelles. D'innombrables nanocapsules resteront dormantes et les seules à se manifester seront celles qui auront été activées. Kraft travaille aussi à des capteurs capables de détecter les carences nutritionnelles d'une personne et de les combler grâce à des aliments intelligents qui libèrent les molécules du nutriment requis.²⁰⁹

Au début de l'an prochain, des scientifiques de l'alimentation vont se rencontrer pour discuter des formules nano et micrométriques permettant la libération contrôlée des nutriments et leur absorption dans les aliments – dans le cadre d'un premier symposium international, *Delivery of Functionality in Complex Food Systems: Physically-Inspired Approaches from Nano-scale to Microscale*, au Centre de recherche de Nestlé à Lausanne, en Suisse.²¹⁰

En plus de faciliter le transport des nutriments, les nanoparticules peuvent modifier d'autres propriétés des aliments. Ainsi, des aliments tels que la margarine, la crème glacée, le beurre et la mayonnaise appartiennent tous à la catégorie des colloïdes, un système dans lequel des petites particules sont dispersées dans un autre médium – liquide, gazeux ou solide. Unilever, Nestlé et d'autres mènent des recherches et détiennent déjà des brevets sur de nouveaux procédés de fabrication des colloïdes à base de nanoparticules, dans le but d'accroître la durée de conservation, prolonger la saveur en bouche, modifier la texture et améliorer la stabilité (voir l'annexe 2).

Nutricosmétiques : les aliments ne sont pas le seul moyen de transporter les ingrédients actifs. L'Oréal de Paris, le premier fabricant mondial de cosmétiques, offre déjà des produits de soins contenant des nanoparticules.²¹¹ (Nestlé détient une participation de 49 % de L'Oréal.) Ses *nanosomes* sont de minuscules systèmes de diffusion intercellulaires qui pénètrent dans la peau en libérant de la vitamine E. Selon L'Oréal, « Comme les interstices de l'épiderme mesurent environ 100 nanomètres, les nanovecteurs constituent la solution idéale au problème de transport et de concentration des ingrédients actifs dans la peau. »²¹² Les cosmétiques contenant des nanoparticules invisibles n'ont pas été oubliés dans les derniers rapports européens sur les dangers éventuels des nanoparticules artificielles.

Un rapport de la Royal Society (Royaume-Uni) émis en juillet 2004 note la minceur des données toxicologiques disponibles sur les nanoparticules artificielles.²¹³ En raison de leur utilisation dans certains produits cosmétiques et écrans solaires, le rapport recommande que l'on procède à d'autres études sur la pénétration cutanée des nanoparticules artificielles et que les études toxicologiques réalisées par l'industrie relèvent du domaine public – ce qui pourrait donner quelques rides à L'Oréal.

L'industrie alimentaire et celle des cosmétiques collaborent à la mise au point de *suppléments nutritionnels cosmétiques*. L'Oréal et Nestlé viennent de former les Laboratoires Innéov, une coentreprise à part égale.²¹⁴ Le premier produit d'Innéov, *Innéov Firmness*, contient du lycopène. Ce supplément administré par voie orale est destiné aux femmes de plus de 40 ans soucieuses de préserver l'élasticité de leur peau. Peu après que Nestlé eut cimenté sa collaboration avec

Les scientifiques du consortium NanoteK de Kraft sont en train de développer des nanocapsules dont les parois éclatent à diverses hyperfréquences, ce qui permettra au consommateur d'activer des saveurs ou des couleurs nouvelles.



Les alliances entre aliments et cosmétiques dénotent la frontière de plus en plus floue entre aliment, médicament et cosmétique, une tendance qui va sans doute s'accélérer avec les nanotechnologies.

L'Oréal, Procter & Gamble et Olay ont annoncé conjointement la création prochaine de deux gammes de suppléments nutritionnels – l'une pour la *Beauté* et l'autre, le *Bien-être*.²¹⁵ Bien que ces suppléments ne soient pas présentés comme des produits issus de la nanotechnologie, on ne peut jurer de rien, puisque l'étiquetage n'est soumis à aucune réglementation. Quoiqu'il en soit, les alliances entre aliments et cosmétiques dénotent la frontière de plus en plus floue entre aliment, médicament et cosmétique, une tendance qui va sans doute s'accélérer avec les nanotechnologies.

III. RECOMMANDATIONS

Les cultures génétiquement modifiées sont arrivées sur le marché il y a moins de dix ans, pratiquement sans le moindre débat public sur leurs avantages et inconvénients, et dans des cadres réglementaires que les organisations de la société civile estiment inadéquats et sans transparence, quand ils ne sont pas carrément inexistantes. C'est pour cela qu'on n'a toujours pas réglé les controverses et les questions entourant l'impact des aliments GM sur le plan socio-économique, comme sur la santé et sur l'environnement. Et c'est pour cela que des millions de gens les ont obstinément rejetés. On ne peut s'empêcher de faire un rapprochement entre l'introduction de la biotechnologie et celle des nanotechnologies. Après s'être juré de ne pas reproduire les mêmes maladroitures, la communauté nano a pourtant emboîté le pas à la biotechnologie.

En autorisant la commercialisation de nanoproduits sans débat public ni examen réglementaire, l'État, l'industrie agroalimentaire et le monde scientifique ont déjà compromis la possibilité d'utiliser les nanotechnologies à des fins positives. Nulle part au monde on n'a pris la peine d'adopter une réglementation pour évaluer les nouveaux nanoproduits avant de les intégrer à la chaîne alimentaire – c'est de la négligence crasse et c'est inadmissible! Compte tenu des inquiétudes généralisées sur les aliments GM, les résidus de pesticides, les hormones de croissance et la maladie de la vache folle, agriculteurs et consommateurs seront médusés d'apprendre qu'il y a déjà des nanomatériaux de pointe sur leur table de cuisine et qu'il y en a d'autres sur la table à dessin. Il faut prendre des mesures en vue de

rétablir la confiance dans les systèmes alimentaires et garantir que si on introduit des technologies à l'échelle nano, ce sera dans le respect de normes rigoureuses sur le plan de la santé et de la sécurité.

Notre recommandation la plus importante, c'est que la société s'engage pleinement dans un large débat sur le rôle des (nano)technologies convergentes dans l'alimentation et l'agriculture.

Ce serait une grave erreur – à la fois pour la société et pour les acteurs de l'industrie – de confier ce débat à un aréopage d'experts ou d'étudier la question des nouvelles technologies purement en fonction de leur impact sur la santé et sur l'environnement. Contrairement au précédent débat sur les OGM, il ne faut pas se limiter aux seules questions techniques. Il faut aussi aborder les questions relatives à la propriété intellectuelle et à d'autres formes de monopoles technologiques. Qui contrôlera ces technologies? Qui en profitera? Qui va décider de la façon dont elles affectent notre avenir?

Reconnaissant que l'État s'est déjà compromis en raison de ses rapports alambiqués avec l'industrie de l'agroalimentaire et des nanotechnologies, ETC Group adresse d'abord et avant tout ses recommandations à ses partenaires de la société civile. Néanmoins, nous présentons aussi des recommandations à l'intention des gouvernements et organismes intergouvernementaux.

À la société civile : Les ONG et les mouvements sociaux commencent à reconnaître l'impact potentiel des technologies convergentes à l'échelle nano. Plus particulièrement dans le domaine de l'agriculture, il est

« Quel genre de stratégies de l'industrie – et il faut présumer qu'il y a bien eu stratégie – tenterait de commercialiser en douce des produits dont personne n'a besoin mais que tout le monde est forcé de consommer, qui sont difficiles à justifier même pour les politiques les plus favorables à l'industrie, et dont la seule qualité est d'améliorer le positionnement sur le marché des entreprises qui les fabriquent? »

– Réflexions sur l'introduction de la biotechnologie agricole, éditorial, *Nature Biotechnology*, septembre 2004

Il est urgent que la société civile se mobilise pour favoriser le débat public le plus large possible sur les nouvelles technologies à l'échelle nanométrique, et pour assurer que les décideurs prennent les mesures qui s'imposent pour sauvegarder la santé, le bien-être et le gagne-pain des agriculteurs et des consommateurs – en plus de l'environnement.

urgent que la société civile se mobilise pour favoriser le débat public le plus large possible sur les nouvelles technologies à l'échelle nanométrique, et pour assurer que les décideurs prennent les mesures qui s'imposent pour sauvegarder la santé, le bien-être et le gagne-pain des agriculteurs et des consommateurs – en plus de l'environnement.

- Les organisations de petits agriculteurs doivent commencer à surveiller les nanotechnologies qui touchent leur région et leur gagne-pain. En plus des discussions et débats internes, elles doivent participer aux discussions plus larges avec le reste de la société civile et les gouvernements.
- Les organisations de consommateurs ne doivent pas seulement dépister les nanotechnologies, mais aussi sensibiliser leurs membres aux produits alimentaires et agricoles ainsi qu'aux procédés issus des nanotechnologies. De concert avec les groupes environnementaux, elles doivent exercer des pressions politiques sur les gouvernements pour les inciter à adopter des régimes réglementaires adaptés à ces technologies et favoriser le débat public.
- Les groupes environnementaux doivent travailler en étroite collaboration avec les organisations d'agriculteurs et les peuples autochtones afin d'évaluer l'impact des nanotechnologies sur l'agriculture et la biodiversité agricole. Il faut empêcher l'introduction dans l'environnement des produits issus des nanotechnologies tant et aussi longtemps qu'il n'y aura pas de réglementation appropriée.

Aux gouvernements : À court et à moyen terme, il faut agir à l'échelle nationale.

• Les États doivent adopter un régime réglementaire *sui generis* qui traite des enjeux relatifs à la santé et à l'environnement en rapport avec l'utilisation de nanomatériaux dans l'agriculture et l'alimentation.

• En vertu du principe de précaution, il faut retirer du marché l'ensemble des aliments de consommation humaine et animale, et toutes les boissons (y compris les suppléments alimentaires) contenant des nanoparticules artificielles jusqu'à la mise en place de régimes réglementaires qui tiennent compte des caractéristiques particulières de ces matériaux, et jusqu'à ce que l'on ait démontré l'innocuité de ces produits.

• Il faut interdire la dissémination dans l'environnement des nanopréparations d'intrants agricoles – tels que pesticides, engrais et traitements du sol – jusqu'à ce que de nouveaux régimes réglementaires spécialement conçus pour étudier ces produits en aient déterminé l'innocuité.

• Il faut adopter immédiatement un moratoire sur les essais en laboratoire et la dissémination dans l'environnement des matériaux issus de la biologie synthétique jusqu'à ce que la société ait pu analyser en profondeur leur impact socioéconomique et leurs effets sur santé et l'environnement.

Aux appareils

intergouvernementaux : Pour prévenir les brèches ou les glissements de la réglementation à l'échelle internationale, les États doivent travailler ensemble dans le cadre des appareils spécialisés des Nations unies en vue de garantir la santé et la sécurité des travailleurs et des consommateurs; de préserver l'environnement et la diversité biologique; et pour assurer le bien-être socioéconomique de la population de tous les pays.

• L'Organisation mondiale de la santé (OMS) et l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) doivent veiller à la mise à jour du Codex Alimentarius afin de tenir compte de l'utilisation de nanoparticules et d'autres nanotechnologies dans l'agriculture et l'alimentation.

• Le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE) et la Convention sur la diversité biologique (CDB) doivent étudier l'impact potentiel des nanotechnologies sur la diversité biologique et l'environnement.

• L'OMS doit entreprendre des études à court et à long terme sur l'effet que pourraient exercer les nanoparticules et les nanotechnologies sur la santé des chercheurs, des travailleurs et des consommateurs.

• L'Organisation internationale du travail (OIT) et l'UNESCO (Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture) doivent étudier l'impact éventuel des nanoparticules et des nanotechnologies sur la main-d'œuvre agricole, l'éducation et la santé économique des pays largement tributaires de la production agricole ou des exportations agricoles.

• La FAO et la Conférence des Nations unies sur le commerce et le développement (CNUCED) doivent étudier l'impact éventuel des nanoparticules et des nanotechnologies sur la production et le commerce, y compris les changements éventuels des sources d'approvisionnement et des prix.

• La Commission des ressources génétiques pour l'alimentation et l'agriculture de la FAO doit entreprendre une étude immédiate sur l'impact éventuel des nanotechnologies sur la diversité génétique des espèces animales et végétales et sur leur mise en valeur.

• L'UNESCO et la FAO doivent entreprendre des études en vue d'établir les implications des nanotechnologies sur la recherche alimentaire et agricole pour les pays du Sud afin de recommander des priorités de recherche nationales et internationales en agriculture.

• L'Organisation mondiale de la propriété intellectuelle (OMPI) doit se pencher sur les implications de la propriété intellectuelle de produits et procédés issus de la manipulation d'éléments du tableau périodique, qui pourrait entraîner la monopolisation des marchés alimentaires et agricoles et leur distorsion.

• Les Nations unies doivent entamer des négociations en vue d'une Convention internationale pour l'évaluation des nouvelles technologies (CIENT) afin de doter pour la première fois les États et la société d'un système d'alerte/d'écoute rapide qui permettrait à la société et à la science de briser le cycle des crises qui accompagnent l'introduction de chaque nouvelle technologie.

Le sort des nanotechnologies convergentes se jouera d'ici deux ans. À l'heure actuelle, l'industrie et les gouvernements essaient tant bien que mal de se remettre des inquiétantes maladroites qui compromettent l'avenir des nanotechnologies. À la fin de 2004, il y a au moins trois grands projets mondiaux favorables à l'amorce d'un dialogue multipartite qui englobe la société civile,

En vertu du principe de précaution, il faut retirer du marché tous les aliments de consommation humaine et animale, et toutes les boissons (y compris les suppléments alimentaires) contenant des nanoparticules artificielles jusqu'à la mise en place de régimes réglementaires qui tiennent compte des caractéristiques particulières de ces matériaux, et jusqu'à ce que l'on ait démontré l'innocuité de ces produits.

Le sort des nanotechnologies convergentes se jouera d'ici deux ans.

l'industrie et les gouvernements. Ces tentatives sont cependant vouées à l'échec si on ne s'engage pas clairement à les élargir au-delà des groupes environnementaux pour inclure d'autres mouvements sociaux, dans le Nord comme dans le Sud, notamment les peuples autochtones, les organisations

d'agriculteurs, les syndicats, le mouvement des personnes handicapées, les organisations de femmes et de consommateurs. Pour sa part, ETC Group ne participera à aucun processus de dialogue qui n'inclurait pas tout l'éventail des acteurs de la société civile et ne favoriserait pas le débat sociétal le plus large possible.

NOTES

- 1 IGD estime le marché mondial du détail à 2,8 billions \$. Les statistiques globales sur la population et les exportations agricoles sont tirées de Jerry Buckland, *Ploughing Up the Farm*, Zed Books, 2004, p. 18 et p. 100.
- 2 Cité dans Philip Ball, 'Nanotechnology science's next frontier or just a load of bull?' *New Statesman*, 23 juin 2003; sur Internet (10 août 2004) : http://www.findarticles.com/p/articles/mi_m0FQP/is_4643_132/ai_104520140
- 3 Helmut Kaiser Consultancy, 'Nanotechnology in Food and Food Processing Industry Worldwide,' étude inédite, Tübingen, mars 2004, p. 35.
- 4 Auteur inconnu, 'Global Nanotechnology Market to Reach \$29 billion by 2008,' Business Communications Company inc., communiqué de presse, 3 février 2004. Sur Internet : <http://www.bccresearch.com/editors/RGB-290.html>
- 5 Pat Phibbs, "Nanotechnology Could Require Changes To Controls on Toxics, White House Says," *Chemical Regulation Reporter*, volume 28, no 14, 5 avril 2004, sur Internet (24 septembre 2004) : <http://ehscenter.bna.com/pic2/ehs.nsf/id/BNAP-5XRG6K?OpenDocument>
- 6 Rapport conjoint de la National Science Foundation et du Département du commerce. Sur Internet : http://wtec.org/ConvergingTechnologies/Report/NBIC_report.pdf
- 7 Alfred Nordmann, rapporteur, "Converging Technologies – Shaping the Future of European Societies," août 2004. Sur Internet (28 septembre 2004) : http://europa.eu.int/comm/research/conferences/2004/ntw/pdf/final_report_en.pdf
- 8 *Ibid.*, p. 2.
- 9 *Ibid.*, p. 4.
- 10 *Ibid.*, p. 3.
- 11 Voir le communiqué d'ETC Group, "The Strategy for Converging Technologies: The Little BANG Theory," mars-avril 2003, numéro 78. Sur Internet : <http://www.etcgroup.org/article.asp?newsid=378>
- 12 Vicki L. Colvin, directrice, Center for Biological and Environmental Nanotechnology, Université Rice. Commentaire émis lors du séminaire "Nano-Vision 2014" tenu le 15 septembre 2004, à Saint Gallène, en Suisse.
- 13 Voir, par exemple, "Ten Toxic Warnings," tiré de ETC Group, "Nano's Troubled Waters," *Genotypes*, 1 avril 2004, pp. 3-4. Sur Internet : <http://www.etcgroup.org/article.asp?newsid=445>
- 14 Eva Oberdörster, "Manufactured Nanomaterials (Fullerenes, C60) Induce Oxidative Stress in the Brain of Juvenile Largemouth Bass," *Environmental Health Perspectives*, volume 112, no 10, juillet 2004.
- 15 Haum, Petschow, Steinfeldt, "Nanotechnology and Regulation within the framework of the Precautionary Principle. Rapport final de la Commission de l'industrie, de la recherche et de l'énergie (ITRE) du Parlement européen," Institut für ökologische Wirtschaftsforschung(IÖW) gGmbH, Berlin, 11 février 2004, p. 38.
- 16 *Nano-Scale Science and Engineering for Agriculture and Food Systems: A Report Submitted to Cooperative State Research*, Service de la recherche, de l'éducation et de la vulgarisation, à partir de l'atelier national de planification tenu les 18-19 novembre 2002, Washington, DC, septembre 2003. Sur Internet : www.nseafs.cornell.edu
- 17 McKnight, T.E. *et al.* "Intracellular integration of synthetic nanostructures with viable cells for controlled biochemical manipulation," *Nanotechnology* 14, pp. 531-556 (9 avril 2003). Voir aussi "Nanofibres deliver DNA to Cells," Genome News Network, http://www.genomenewsnetwork.org/articles/06_03/nano.shtml
- 18 Kate Dalke, "Inside Information: Nanofibers Deliver DNA to Cells," 13 juin 2003, Genome News Network, http://www.genomenewsnetwork.org/articles/06_03/nano.shtml
- 19 Pour plus de détails sur la toxicité des nanofibres et nanotubes de carbone, voir ETC Group, "Size Matters – the Case for a Global Moratorium," *publication hors-série d'ETC Group*, avril 2003. Sur Internet : www.etcgroup.org/article.asp?newsid=392
- 20 Lux Research, *Nanotech Report 2004*, volume. 1, p. 96.
- 21 Communiqué de presse d'ETC, "Atomically Modified Rice in Asia?" 25 mars 2004. Sur Internet : www.etcgroup.org/article.asp?newsid=444
- 22 Ranjana Wangvipula, "Thailand embarks on the nano path to better rice and silk," *Bangkok Post*, 21 janvier 2004. Sur Internet : http://www.smalltimes.com/document_display.cfm?document_id=7266
- 23 Witoon Lianchamroon, de BIOTHAI, 25 mars 2004. Witoon a eu un entretien téléphonique avec le Dr Thirapat Vilaithong et d'autres scientifiques du Fast Neutron Research Facility de Chaing Mai.
- 24 *Ibid.*
- 25 Ranjana Wangvipula, "Thailand embarks on the nano path to better rice and silk," *Bangkok Post*, 21 janvier 2004. Sur Internet : http://www.smalltimes.com/document_display.cfm?document_id=7266
- 26 Communiqué de presse d'ETC Group, "Atomically Modified Rice in Asia?" 25 mars 2004. Sur Internet : www.etcgroup.org/article.asp?newsid=444
- 27 Correspondance courriel avec Carolin Kranz, de BASF, 27 octobre 2004.
- 28 WO03039249A3 : "Nanoparticles Comprising a Crop Protection Agent."
- 29 Voir la demande de brevet US 20 040 132 621, de Bayer Crop Science, "Microemulsion Concentrates."
- 30 Voir, par ex. : http://www.engageagro.com/media/pdf/brochure/primomaxx_10pgbrochure_english.pdf
- 31 Voir le dépliant Banner MAXX de Syngenta sur Internet : http://www.engageagro.com/media/pdf/brochure/bannermaxx_brochure_english.pdf
- 32 *Ibid.*
- 33 Correspondance courriel avec Barbara Karn, de l'EPA, 1^{er} novembre 2004.
- 34 *Ibid.*
- 35 *Ibid.*
- 36 Syngenta, "A microscopic formula for success," sur le site Web de Syngenta : http://www.syngenta.com/en/day_in_life/microcaps.aspx

- 37 Janet Morrissey, "Flamel Tech Shares Up 46% on Pact with Monsanto," Dow Jones, 6 janvier 1998. Sur Internet (22 septembre 2004) : <http://www.pmac.net/patent.htm>
- 38 Syngenta, "A microscopic formula for success," sur le site Web de Syngenta : http://www.syngenta.com/en/day_in_life/microcaps.aspx
- 39 *Ibid.*
- 40 Brevet de Syngenta, US 6 544 540, "Base-Triggered Release Microcapsules."
- 41 Syngenta, "A microscopic formula for success," sur le site Web de Syngenta : http://www.syngenta.com/en/day_in_life/microcaps.aspx
- 42 Le brevet de Syngenta, WO0194001A2, porte sur des nano et microcapsules en agrochimie.
- 43 Rolf Daniels, "Galenic principles of modern skin care products," *Skin Care Forum* 25. Sur Internet : http://www.scf-online.com/english/25_e/galenic_25_e.htm#Nanoemulsions
- 44 Eric J. Lerner, "Nano' is now at Michigan and James Baker is Leading the Way," *Medicine at Michigan* volume 2, no 2, été 2000. Sur Internet : <http://www.medicineatmichigan.org/magazine/2000/summer/nanonman/default.asp>
- 45 Voir par exemple le brevet EP1037527B1: Microcapsules with readily adjustable release rates.
- 46 Voir par exemple les microcapsules Zeon de Syngenta, détails sur Internet : http://www.syngenta.com/en/products_services/karate_page.aspx
- 47 Voir par exemple le communiqué de presse de l'Université du Missouri, "Designing Smarter 'Smart' Drugs: MU Chemist's 'Nanocapsule' Could Revolutionize Drug Delivery," 1er juillet 2002.
- 48 Voir par exemple la demande de brevet US 20 040 105 877, "Controlled release pesticidal composition and method of making," Hargrove, Garrard L. *et al.*, 3 juin 2004.
- 49 Voir par exemple le brevet US 6 200 598, "Temperaturesensitive liposomal formulation," Université Duke, 2001.
- 50 Voir par exemple la demande de brevet de Syngenta, US US20020037306A1: Base-triggered release microcapsules, 2002.
- 51 Subvention du USDA, 2002-00349, "Development of an Ultrasoundmediated Delivery System for the Mass Immunization of Fish."
- 52 Voir par exemple la demande de brevet WO9959556A1, "Externally Triggered Microcapsules," de la NASA/Johnson Space Center.
- 53 Voir Subvention du USDA, 2002-00349, "Development of an Ultrasound-mediated Delivery System for the Mass Immunization of Fish."
- 54 Syngenta, "A microscopice formula for success," sur le site Web de Syngenta : http://www.syngenta.com/en/day_in_life/microcaps.aspx
- 55 Malcolm T. Sanford, "Protecting Honey Bees From Pesticides," circulaire 534, département d'entomologie et de nématologie, Service d'éducation coopérative de la Floride, Institut des sciences alimentaires et agricoles, Université de la Floride. Publication originale le 25 avril 1993, mise à jour le 1er mai 2003. Sur Internet : http://edis.ifas.ufl.edu/BODY_AA145#FOOTNOTE_1
- 56 James B. Petro, Theodore R. Plasse et Jack A. McNulty, "Biotechnology: Impact on Biological Warfare and Biodefense," *Biodefense and Bioterrorism: Biodefense Strategy, Practice and Science*, volume 1, no 3, 2003, p. 164. Sur Internet (20 septembre 2004) : http://www.biodefensjournal.com/PDFs/v1n303/p161_s.pdf
- 57 The Sunshine Project, Backgrounder #13, janvier 2004, "Export Controls: Impediments to Technology Transfer Under the Convention on Biological Diversity." Sur Internet : <http://www.sunshine-project.org>
- 58 Dr Yvon G. Durant de l'Université du New Hampshire, Advanced Polymer laboratory, "White Paper: Delivery of Chemicals by Microcapsules," préparé pour le US Marine Corps, sur le site Web du Sunshine Project : <http://www.sunshine-project.org/incapacitants/jnlwdpdf/>
- 59 Jim Barlow, Remote-Sensing Lab Aims to Foster Growth of Precision Farming," communiqué de presse de l'Université de l'Illinois/Urbana-Champaign, 2 mai 2001. Sur Internet : <http://www.news.uiuc.edu/scitips/01/05farmlab.html>
- 60 Kurt Lawton, "In the year 2013," *Farm Industry News*, 1^{er} mars 2003.
- 61 Version préliminaire de 'Nano-Scale Science and Engineering for Agriculture and Food Systems: A Report Submitted to Cooperative State Research', Service de la recherche, de l'éducation et de la vulgarisation, à partir de l'atelier national de planification tenu les 18-19 novembre 2002, Washington, DC, septembre 2003; il s'agit de la révision B, du 14 février 2003. Dans la version finale, la technologie du petit frère (*Little Brother*) est simplement qualifiée de *système de protection de l'identité*.
- 62 <http://www.news.uiuc.edu/scitips/01/05farmlab.html>
- 63 Michael Kanellos, "Intel produces chips for next generation," 24 novembre 2003, Sur Internet : http://news.zdnet.com/2100-9584_22-5111327.html
- 64 Document d'Intel, "The Promise of Wireless Sensors," sur Internet : ftp://download.intel.com/research/exploratory/Promise_of_Wireless_Sensor_Networks.pdf
- 65 Gerry Blackwell, "The Wireless Winery," 23 septembre 2004, sur Internet : www.wi-fiplanet.com/columns/article.php/3412061
- 66 Auteur inconnu, document d'Intel, "New Computing Frontiers -The Wireless Vineyard," sur Internet : <http://www.intel.com/labs/features/rs01031.htm>
- 67 Voir la page Web de Chris Pister sur la poussière intelligente : <http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust/in2010>
- 68 Communiqué de presse d'ONWorld, "Wireless Sensor Networks: A Mass Market Opportunity," 4 mars 2004, sur Internet : www.emediawire.com/releases/2004/3/emw108651.htm
- 69 Frank Munger, "ORNL tests early-warning system for hazardous-substance attacks," 12 avril 2004, www.sensornet.gov
- 70 Stephen J. Bigelow, "Microscopic Monitors: A New Breed Of Wireless Sensors Can Bring Senses To Networks," *Processor*, 16 juillet 2004, volume 26, no 29. Sur Internet : <http://www.processor.com>
- 71 *Ibid.*
- 72 Karen F. Schmidt, "Smart dust is way cool," *US News & World Report*, 16 février 2004. Sur Internet : www.usnews.com
- 73 Brendan I. Koerner, "Intel's Tiny hope for the Future," *Wired*, no 11, 12 décembre 2003.

- 74 David E. Culler et Hans Mulder, "Smart Sensors to Network the World," *Scientific American*, juin 2004. Sur Internet : www.scientificamerican.com
- 75 Quentin Hardy, "Sensing opportunity," *Forbes Magazine*, septembre 2003.
- 76 Chris Taylor, "What Dust can tell you," *Time*, 12 janvier 2004. Voir aussi, Barbara G. Goode, "A sure thing for Homeland Security," *Sensormag.com*, juin 2004.
- 77 Michael D. Mehta, "Privacy vs. Surveillance – How to avoid a nano-panoptic future," *Canadian Chemical News*, novembre-décembre 2002, pp. 31-33.
- 78 Royal Society et Royal Academy of Engineering, *Nanoscience and Nanotechnologies: opportunities and uncertainties*, juillet 2004, p. 53. Sur Internet : <http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm>
- 79 À partir du survol historique de Kevin Binfield dans *Writings of the Luddites*, Baltimore and London: The Johns Hopkins University Press, 2004; extrait disponible sur Internet (29 septembre, 2004) : <http://campus.murraystate.edu/academic/faculty/kevin.binfield/luddites/LudditeHistory.htm>
- 80 Lux Research inc., *Nanotech Report 2004*.
- 81 CNUCED, Annuaire des produits de base 2003. Sur Internet : <http://r0.unctad.org/infocomm/francais/indexfr.htm>
- 82 Steve Waite, "Ross' Nano Gambit," 14 août 2003, *Forbes/Wolfe blog*, Sur Internet : <http://www.forbeswolfe.com/archives/000063.html>
- 83 Candace Stuart, "Nano-Tex Markets Brand To Become 'Intel Inside' of Nanomaterials," *Small Times*, 2002. Sur Internet : <http://www.smalltimes.com>
- 84 Comité consultatif international du coton, Washington, DC., <http://www.icac.org>
- 85 Gérald Estur, "Cotton: Commodity Profile," Comité consultatif international du coton, Washington, DC, juin 2004, pp. 1-2. Sur Internet (20 septembre 2004) : http://www.icac.org/icac/cotton_info/speeches/english.html
- 86 Jessica Gorman, "Super Fibres: nanotubes make tough threads" *Science News*, 14 juin 2003, volume 163, no 24, p.372.
- 87 Département du Commerce des É.-U., Centre national des textiles, projet M03-CL07s, "Functional Fabric with Embedded Nanotube Actuators/Sensors," sur Internet : <http://mse.clemson.edu/hm/research/ntc/M03-CL07s-A3.pdf>
- 88 Rossari Biotech, "Nanotechnology: the new Buzzword II," 26 août 2004, sur Internet : <http://www.expresstextile.com/20040826/performancefabrics02.shtml>
- 89 Groupe d'étude international sur le caoutchouc, "Rubber Industry Report," volume 3, no 12, juin 2004. Sur Internet : <http://www.rubberstudy.com/report.aspx>
- 90 Wayne Arnold, "In Thailand, High Hopes for its Rubber Industry," *New York Times*, 26 février 2004.
- 91 *Ibid.*
- 92 Mongabay.com, "A brief History of rubber," sur Internet: <http://www.mongabay.com/10rubber.htm>
- 93 Communiqué de l'Association des manufacturiers de caoutchouc (US): "Predicted Growth of Tread Rubber Shipments to Continue," Washington, D.C., 18 mars 2004
- 94 Jim Hurd, *Silicon Valley Nano Report 1*, juin 2004, sur Internet: <http://www.nanosig.org/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=12>
- 95 Jack Mason, "Nanocomposites in Tennis Balls Lock in Air, Build Better Bounce," *Small Times*, en ligne, 29 janvier 2002. Sur Internet : www.smalltimes.com
- 96 Auteur inconnu, "Aerogels: 'Solid Smoke' May Have Many Uses," *SpaceDaily*, 5 avril 2004. <http://www.spacedaily.com/news/materials-04q.html>
- 97 Communiqué de presse, "New lightweight materials may yield safer buildings, longer-lasting tires: aerogels," American Chemical Society, 12 septembre 2002.
- 98 Brevet US 6 527 022, "Pneumatic tire having a tread containing a metal oxide aerogel," 1^{er} mars 2003.
- 99 Tire Business, *Global Tire Report*, septembre 2002.
- 100 Athene Donald, "Food for thought," *Nature Materials*, volume 3, septembre 2004, pp. 579-581.
- 101 *Ibid.*, p. 580.
- 102 Jenny Hogan, "100-metre nanotube thread pulled from furnace," *New Scientist*, 11 mars 2004. <http://www.newscientist.com/news/news.jsp?id=ns99994769>
- 103 Auteur inconnu, "Waste fiber can be recycled into valuable products using new technique of electrospinning, rapport de chercheurs de Cornell," *Cornell News*, 10 septembre 2003. www.news.cornell.edu
- 104 *Ibid.*
- 105 Auteur inconnu, Inteletex News, "Solvent solutions," *Future Materials*, décembre 2003, sur Internet : <http://www.inteletex.com/FeatureDetail.asp?PubId=&NewsId=2469>
- 106 Liz Kalaugher, "Alfalfa plants harvest gold nanoparticles," *Nanotechweb*, 16 août 2002, sur Internet : <http://nanotechweb.org/articles/news/1/8/14/1>
- 107 Peter N. Spotts, "No fairy tale: Researchers spin straw into gold," *The Christian Science Monitor*, 29 août 2002. Sur Internet : www.csmonitor.com/2002/0829/p02s02-usgn.htm
- 108 *Ibid.*
- 109 *Ibid.*
- 110 Danny Penman, "Geraniums the key to cheap nanoparticles," *New Scientist*, 16 juin 2003.
- 111 Greg Lavine, "Buckyballs boost fertilizer," *Salt Lake Tribune*, 23 mars 2004, p. D1.
- 112 Brevet de l'OMPI, WO03059070A1, "The liquid composition for promoting plant growth, which includes nano-particle titanium dioxide," accordé à Choi, Kwang-Soo.
- 113 A.M. Prochorov et al., "The influence of very minute doses of nano-disperse iron on seed germination," exposé présenté à la Ninth Foresight Conference on Molecular Nanotechnology, 2001.
- 114 ETC Group, "Mulch ado about nothing? ... Or the 'Sand Witch?'" *Communiqué d'ETC Group*, septembre-octobre 2003. Sur Internet : <http://www.etcgroup.org>
- 115 Communiqué de presse, "Nanoscale Iron Could Help Cleanse The Environment; Ultrafine Particles Flow Underground And Destroy Toxic Compounds In Place," National Science Foundation, 4 septembre 2003.

- 116 Andrew Scott, "The human genome on a chip," *The Scientist*, 3 octobre 2003. Sur Internet : <http://www.biomedcentral.com/news/20031003/07>
- 117 Consortium international sur les tiques et maladies transmises par les tiques (ICTTD)/EMBO, "Integrated molecular diagnostics for tick-borne pathogens using RLB hybridization and microarray based biochips," 27 octobre 2003, Université de Pretoria, Département de médecine vétérinaire (maladies tropicales), Onderstepoort, Afrique du Sud.
- 118 Affymetrix Inc., Security and Exchange Commission des É.-U., Form 10-K, 31 décembre 2003, Sur Internet : http://media.corporate-ir.net/media_files/nsd/affx/presentations/affx_10k1.pdf
- 119 Charles Choi, "Holograms to sort, steer nanotubes, cells," United Press International, 3 mars 2004. Voir aussi Bill Snow, "Commercializing Killer Technology - Arryx," 29 juillet 2003, sur Internet : www.billsnow.com/Articles_Snow_VC101_2003_07_29_Commercializing_Killer_Technology-Arryx.htm
- 120 Auteur inconnu, "Advanced Reproduction: Microfluidic engineering mimics nature to streamline assisted reproduction," Université de l'Illinois (Technologies émergentes), bureau du vice-président au développement économique, sans date; sur Internet : http://www.vpted.uillinois.edu/~pdf_files/iemerging%20past%20pdfs/Advanced%20Reproduction.pdf
- 121 Kyle James, "Increasing Demand for Microfluidics Leads to Market Optimism," 28 avril 2004. Sur Internet : http://www.smalltimes.com/document_display.cfm?document_id=7777
- 122 Résumé de K. Jane, *Biochips and Microarrays*, novembre 2000, sur Internet : www.urchpublishing.com
- 123 Auteur inconnu, "Nanoshells Cancer Treatment Proves Effective in First Animal Test: Laser Treatments Eradicate All Tumors from Mice in Trial," communiqué de presse de l'Université Rice, 21 juin 2004; sur Internet (8 octobre 2004) : <http://media.rice.edu/media/Newsbot.asp?MODE=VIEW&ID=4469&SnID+698963046>
- 124 Lux Research, *Nanotech Report 2004*, volume 1, p. 200.
- 125 *Nano-Scale Science and Engineering for Agriculture and Food Systems: A Report Submitted to Cooperative State Research, Research, Education and Extension Service*, à partir d'un atelier national de planification tenu les 18 et 19 novembre 2002, Washington, DC, septembre 2003, p. 9. Sur Internet : www.nseafs.cornell.edu
- 126 Auteur inconnu, "pSivida Granted US Patent for Biosilicon," 4 août 2004, <http://www.azonano.com/news.asp?newsID=258>
- 127 Voir "Adhesin-Specific Nanoparticles," sur Internet : <http://www.clemson.edu/research/ottSite/techs/nopatent/00237.htm>
- 128 Entretien téléphonique avec le Dr Robert Latour, Université Clemson, 13 septembre 2004.
- 129 Barnaby J. Feder et Tom Zeller, Jr., "Identity Badge Worn Under Skin Approved for Use in Health Care," *New York Times*, 14 octobre 2004.
- 130 FAO, *Situation des pêcheries et de l'aquaculture dans le monde 2002*, 1^{re} partie, vue d'ensemble, 2002.
- 131 Auteur inconnu, "Altair Nanotechnologies' Algae Prevention Treatment Confirmed Effective in Testing," communiqué de presse d'Altair, 11 mars 2004.
- 132 Auteur inconnu, "Altair Nanotechnologies Files Patent on NanoCheck Algae Preventer for Prevention of Algae in Swimming Pools," communiqué de presse d'Altair, 16 décembre 2002.
- 133 Subvention du USDA 2002-00349, "Development of an Ultrasoundmediated Delivery System for the Mass Immunization of Fish."
- 134 Prochorov A.M., Pavlov G.V., Okpattah G.A.C., Kaetanovich A.V., "The effect of nano-disperse form of iron on the biological parameters of fish," présenté à la Tenth Foresight Conference on Molecular Nanotechnology, Bethesda, É.-U., octobre 2002.
- 135 Rodney Brooks, "The Cell Hijackers," *Technology Review*, juin 2004, p.31. Sur Internet : <http://www.technologyreview.com>
- 136 Auteur inconnu, "Building Blocks for Biobots," Berkeley Lab, *Science Beat Magazine*, 27 août 2004. Sur Internet : http://www.lbl.gov/Science-Articles/Archive/sb/Aug-2004/2_biobots.html
- 137 W. Wayt Gibbs, "Synthetic Life," *Scientific American*, 26 avril 2004. Sur Internet : http://www.sciam.com/print_version.cfm?articleID=0009FCA4-1A8F-1085-94F483414B7F0000
- 138 *Ibid.*
- 139 Auteur inconnu, "Building Blocks for Biobots," Berkeley Lab, *Science Beat Magazine*, 27 août 2004. Sur Internet : http://www.lbl.gov/Science-Articles/Archive/sb/Aug-2004/2_biobots.html
- 140 Hutchison est cité dans l'article de Steve Mitchell, "Scientists to Synthesize New Life Form," United Press International, 21 novembre 2002. Sur Internet : <http://www.upi.com/view.cfm?StoryID=20021121-044419-1997r>
- 141 Communiqué de presse du DOE, "Researchers Funded by DOE 'Genomes to Life' Program Achieve Important Advance...," 13 novembre 2003. Sur Internet : <http://energy.gov1>
- 142 James Shreeve, "Craig Venter's Epic Voyage of Discovery," *Wired*, août 2004, p. 151.
- 143 Voir le Communiqué d'ETC Group, "Nanotech Un-good!" juillet-août 2003, sur Internet : <http://www.etcgroup.org/article.asp?newsid=399>.
- 144 Citation de Steven Benner, auteur inconnu, "Evolving Artificial DNA?" *Astrobiology Magazine*, 27 février 2004. Sur Internet (20 septembre 2004) : <http://www.astrobio.net/news/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=845>
- 145 *Ibid.*
- 146 Citation de Benner tirée de Philip Ball, "Synthetic Biology: Starting from Scratch," *Nature* 431, pp. 624-626, 7 octobre 2004, sur Internet : <http://www.nature.com/>
- 147 Philip Ball, "Synthetic Biology: Starting from Scratch," *Nature* 431, pp. 624-626, 7 octobre 2004, sur Internet : <http://www.nature.com/>
- 148 Auteur inconnu, "Futures of artificial life," *Nature*, volume 431, 7 octobre 2004, p. 613.
- 149 Susan Wright, *Molecular Politics: Developing American and British Regulatory Policy for Genetic Engineering, 1972-1982*, Chicago: University of Chicago Press, 1994.
- 150 *Ibid.*, p. 151.
- 151 James Wilsdon et Rebecca Willis, "See-Through Science: Why Public Engagement Needs to Move Upstream, Demos, 2004.
- 152 Moraru et al., "Nanotechnology: A New Frontier in Food Science," *Food Technology*, décembre 2003, volume 57, no 12, p. 25.

- 153 Entretien téléphonique avec Jozef Kokini, président du département de Science alimentaire et directeur du Center for Advanced Food Technology, Université Rutgers, 14 septembre 2004.
- 154 Helmut Kaiser Consultancy, "Nanotechnology in Food and Food Processing Industry Worldwide," étude inédite, Tübingen, mars 2004, p. 35.
- 155 *Ibid.*, p. 35.
- 156 Entretien téléphonique avec Raphael Mannino, 8 septembre 2004.
- 157 *Ibid.*
- 158 Carmen I. Moraru et al., "Nanotechnology: A New Frontier in Food Science," *Food Technology*, décembre 2003, volume 57, no 12, p. 25.
- 159 Les termes *fabrication moléculaire* et *technologie moléculaire* font référence à un procédé de fabrication par mécanismes moléculaires, qui permet de contrôler les produits et sous-produits moléculaire par molécule, par synthèse chimique pondérée, une vision de la nanotechnologie élaborée pour la première fois par K. Eric Drexler dans *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology* (1990).
- 160 Voir par exemple C. S. Prakash, Gregory Conko, "Technology That Will Save Billions From Starvation," *The American Enterprise Online* (publié dans *Biotech Bounty*, mars 2004); Sur Internet : http://www.taemag.com/issues/articleid.17897/article_detail.asp (as of August 19, 2004).
- 161 Wendy Wolfson, "Lab-Grown Steaks Nearing the Menu," *New Scientist*, 30 décembre 2002. Sur Internet : www.newscientist.com
- 162 Kevin P. Phillips, *Wealth and Democracy*, (New York: Broadway Books) 2002, p. 52
- 163 Lublin, J.S., "A Lab's Troubles Raise Doubts about Quality of Drug Tests in US," *The Wall St. Journal*, 21 février 1978, p. 1.
- 164 Cass Peterson, "Panel Told Many Pesticides Tested by Discredited Lab Are in Use," *Washington Post*, 28 juillet 1983, p. A3.
- 165 Theo Colborn, Dianne Dumanoski, et John Peterson Myers, *Our Stolen Future*, Plume Book (1997)
- 166 *Ibid.*
- 167 Auteur inconnu, "U.S. market for smart packaging to surpass \$54 billion by 2008," *Packaging Digest*, mai 2004. Sur Internet : http://www.packagingdigest.com/newsite/Online/online_exclusive8.php
- 168 Carmen I. Moraru et al., "Nanotechnology: A New Frontier in Food Science," *Food Technology*, décembre 2003, volume 57, no 12, p. 26.
- 169 Jack Uldrich, "Now you see it...", *Advantage*, février 2004, pp. 22-27. Sur Internet : <http://www.fmi.org/advantage/issues/022004/pdfs/pub/nowyouseeit.pdf>
- 170 *Ibid.*
- 171 Exposé de Del Stark, Institute of Nanotechnology, "Nanotechnology today: real life examples of nano applications", lors de la conférence sur l'avenir des nanomatériaux, 29 juin 2004.
- 172 Elizabeth Gardner, "Brainy food: Academia, industry sink their teeth into edible nano," *Small Times*, 21 juin 2002.
- 173 Exposés de Graham Moore, Pira International, "What Does Nanotechnology Mean For You?", lors de la conférence sur l'avenir des nanomatériaux, 29 juin 2004.
- 174 Bruce Goldfarb, "Food-borne pathogens stimulating microarray-based biosensor development," *Nanobiotech News*, volume 1, no 19, 10 décembre 2003.
- 175 *Ibid.*
- 176 *Ibid.*
- 177 La devise d'Auto-ID labs, une fédération de six universités de recherche des É.-U., d'Europe, d'Asie et d'Australie, fondée en 1999 pour développer une architecture à norme ouverte permettant de créer un réseau mondial continu d'objets physiques. Sur Internet : <http://www.autoidlabs.org/aboutthelabs.html>
- 178 Voir <http://www.mindfully.org/Technology/2003/Wal-Mart-RFID4jun03.htm>
- 179 Entretien de Pamela Bailey avec Michael Natan, P.D.G. de Nanoplex Technologies, sur Internet (11 août 2004) : <http://news.nanoapex.com/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=14>
- 180 Exposé de Michael Natan, P.D.G. de Nanoplex, "Nanotechnology to Track and Protect Packs," lors de la conférence sur l'avenir des nanomatériaux, 29 juin 2004.
- 181 Le Dr Heribert Watzke, responsable de la science alimentaire chez Nestlé, a utilisé l'expression "something is cooking at the bottom" pour décrire l'autoassemblage des aliments.
- 182 Elizabeth Gardner, "Brainy Food: academia, industry sink their teeth into edible nano," *Small Times*, 21 juin 2002.
- 183 Jack Uldrich, "Now you see it...", *Advantage*, février 2004, pp. 22-27. Sur Internet : <http://www.fmi.org/advantage/issues/022004/pdfs/pub/nowyouseeit.pdf>
- 184 Alex Scott, "BASF takes big steps in small tech, focusing on nanomaterials," *Small Times* online, 16 décembre 2002. Sur Internet : www.smalltimes.com (16 juillet 2004).
- 185 *Ibid.*
- 186 *Ibid.*
- 187 Correspondance courriel avec le Dr Herbert Woolf, de BASF USA, 27 septembre 2004.
- 188 Voir la réponse de la FDA à l'avis GRAS : <http://vm.cfsan.fda.gov/~rdb/opa-g119.html>. La FDA a noté qu'elle pourrait avoir des questions si le lycopène était utilisé comme colorant.
- 189 Entretien téléphonique avec Robert Martin, 24 septembre 2004.
- 190 Entretien téléphonique avec le Dr Gerhard Gans, 4 octobre 2004.
- 191 Voir <http://vm.cfsan.fda.gov/~dms/opa-col2.html>
- 192 Voir <http://www.cfsan.fda.gov/~dms/opa-fcn.html>
- 193 Voir la publication hors série d'ETC, "Size Matters!" 14 avril 2002, sur Internet : <http://www.etcgroup.org/article.asp?newsid=392>
- 194 Institute of Medicine, *Safety of Silicone Breast Implants*, The National Academy Press, 1999, pp. 39-40, sur Internet : <http://www.nap.edu/books/0309065321/html/>
- 195 Voir <http://frwebgate.access.gpo.gov/cgi-bin/get-cfr.cgi>

- 196 Cabot Corporation et Degussa vendent toutes les deux de la silice sublimée (respectivement sous le nom de Cab-o-sil et Aerosil) contenant des nanoparticules. Selon le site <http://www.radtecheurope.com/basf222003.html>, la taille moyenne des particules d'Aerosil 200 est de 12 nm et celle des particules de Cab-o-sil M5, 14 nm. Voir aussi la description du brevet US patent US6521261, "pharmaceutical excipient having improved compressibility," accordé à Edward Mendell Co., É.-U. Le brevet mentionne que la taille des particules varie de 7 nm de diamètre pour des particules nominales (Cab-O-Sil S-17 ou Cab-O-Sil EH-5) à une moyenne de 40 nm pour des particules primaires (Aerosil OX50).
- 197 Carmen Moraru et al., "Nanotechnology: A New Frontier in Food Science," *Food Technology*, décembre 2003, volume 57, no 12, p. 27.
- 198 Bill Martineau du Freedonia Group, cité dans Wendy Wolfson, "Fish-Oil Cookies," *Technology Review*, septembre 2004.
- 199 ETC Group, "Biotech's 'Generation 3,'" communiqué d'ETC Group, décembre 2000. Sur Internet : <http://www.etcgroup.org/article.asp?newsid=158>
- 200 Ronald J. Versic, "Flavor Encapsulation: An Overview," sur Internet : <http://www.rtdodge.com/flovrvw.html> (16 juillet 2004).
- 201 Demande de brevet de Nutralease, WO03105607A1, "Nano-sized self-assembled structured liquids," publiée le 24 décembre 2003.
- 202 Correspondance courriel avec le Dr Nissim Garti de Nutralease, 14 septembre 2004.
- 203 Auteur inconnu, "Israeli Innovation Turns Junk Food into Health Food," *Israel21c online*, 5 juillet 2004; sur Internet (16 juillet 2004) : <http://www.israel21c.com/bin/en.jsp?enPage=BlankPage&enDisplay=view&enDispWhat=object&enDispWho=Articles%5E1722&enZone=Articles&enVersion=0&>
- 204 <http://www.rbcinfo.com>
- 205 <http://www.biodeliverysciences.com/bioralnutrients.html>
- 206 Entretien téléphonique avec le Dr Raphael Mannino, 9 septembre 2004.
- 207 *Ibid.*
- 208 Entretien téléphonique avec le Dr Gustavo Larsen, 7 septembre 2004. Il n'a pas voulu préciser les molécules sur lesquelles il travaille. Pour plus d'information, voir le Current Research Information System du USDA, "Nano-and Micro-Encapsulation of Food Additives and Agrochemicals." Sur Internet : <http://crisops.csrees.usda.gov>
- 209 John Dunn, "A Mini Revolution," *Food Manufacture*, 1^{er} septembre 2004. www.foodmanufacture.com
- 210 <http://www.pgs.ch/delivery2005.htm>
- 211 L'information relative aux nanosomes de L'Oréal se trouve sur le site Web de la société : <http://www.lorealusa.com/research/nanosomes.aspx>
- 212 *Ibid.*
- 213 Royal Society et Royal Academy of Engineering, *Nanoscience and Nanotechnologies: opportunities and uncertainties*, juillet 2004, p. 80. Sur Internet : <http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm>
- 214 Auteur inconnu, communiqué de presse de L'Oréal, "Laboratoires INNEOV and L'Oréal: Bringing Cosmetic Nutritional Supplements to Market," 21 octobre 2002. Sur Internet (26 juillet 2004) : http://www.lorealusa.com/press-room/full_article.aspx?idART=81&idHEADING=11
- 215 Auteur inconnu, "Enhancing beauty from within," 18 avril 2003; sur Internet : <http://www.cosmeticdesign.com>. La marque Olay est détenue par Procter & Gamble.

ANNEXE 1 : Géants de l'industrie des aliments et boissons – RD en nanotechnologie

Entreprise	Ventes mondiales 2003 aliments & boissons (millions USD)*	Activité liée à la nanotechnologie (si elle est connue)
Nestlé (Suisse)	\$54 200	Soutient un groupe de recherche en nanotechnologie alimentaire ; peu de données disponibles au public.
Altria (Kraft Foods) É.-U.	\$29 700	A mis sur pied en 1999 le premier laboratoire industriel en nanotechnologie alimentaire. Finance et sponsorise le consortium Nanotek – RD sur les "boissons intelligentes" et les nanocapsules.
Unilever (R.U. & Pays-Bas)	\$25 700	R&D en nanocapsules. En 1997, Unilever a formé avec l'Université de Cambridge la coentreprise Unilever Cambridge Center for Molecular Informatics. En 2002, Unilever a annoncé qu'elle investirait 30 millions d'€ sur trois ans dans l'Unilever Technology Ventures, basée à Santa Barbara, Californie, afin d'identifier et d'investir dans les financements consacrés à la nanotechnologie et dans les jeunes entreprises. Son objectif consiste à accroître les activités de RD d'Unilever en exploitant de nouvelles technologies, y compris la génomique et la nanotechnologie.
PepsiCo (É.-U.)	\$25 100	Arrive au 4 ^{ème} rang dans la liste des 10 principales entreprises d'aliments et boissons.
Cargill (É.-U.)	\$20 500	Arrive au 7 ^{ème} rang dans la liste des 10 principales entreprises d'aliments et boissons. Partenariat avec EcoSynthetix pour mettre au point un amidon de maïs à échelle nanométrique pour les emballages en carton.
ConAgra (É.-U.)	\$19 800	Arrive au 8 ^{ème} rang dans la liste des 10 principales entreprises d'aliments et boissons.
General Mills	\$10 500	Consacre 6 à 9 000 millions d'USD à la RD en nanotechnologie.†
Sara Lee	\$9 800	Arrive au 19 ^{ème} rang dans la liste des 100 principales entreprises d'aliments et boissons.
H. J. Heinz	\$8 200	Exaltation des saveurs et couleurs. Le secteur de la restauration est en train d'étendre la nanotechnologie aux distributeurs intelligents et repas intelligents, et à l'utilisation des nanomatériaux dans les emballages.†
Campbell Soup (É.-U.)	\$6 700	L'un des objectifs consiste à rehausser la saveur.†
Maruha (Japon)	\$6 300	Premier producteur de fruits de mer au Japon.
Associated British Foods (R.U.)	\$6 000	Groupe spécialisé dans l'alimentation internationale, les ingrédients et la vente au détail, avec 4,9 milliards de £.
Ajinomoto (Japon)	\$5 800	La RD en nanotechnologie inclut une meilleure absorption et un meilleur système d'administration – tant des produits alimentaires que pharmaceutiques.†
DuPont Food Industry Solutions (É.-U.)	\$5 500 (Dupont, ventes 2003 en ag. & nutrition, source : DuPont)	C'est un partenaire stratégique en aliments, boissons & ingrédients alimentaires, créé en mai 2003. Dupont mène des recherches en transformation alimentaire à partir de la taille d'une particule, avec son Particle Size and Technology Research Group à Wilmington, Delaware (É.-U.). L'entreprise a refusé de faire des commentaires.
McCain Foods (Canada)	\$4 600	Firme alimentaire Canadienne privée. 7 ^{ème} rang mondial des aliments surgelés en 2002.
Nippon Suisan Kaisha (Japon)	\$4 000	Second exploitant de produits de la mer au Japon ; ses activités de pêche représentent plus de 45% de ses ventes.
Nichirei (Japon)	\$2 800	1 ^{er} producteur Japonais d'aliments surgelés.
BASF (Allemagne)	5 021 millions d'€ (produits agricoles et secteur alimentaire)	Les ventes annuelles de BASF pour les produits issus de la nanotechnologie représentent actuellement environ 2 000 millions d'€. La majorité de ces ventes ne proviennent pas des aliments, bien que BASF commercialise des additifs alimentaires contenant des nanopréparations de caroténoïde.
Goodman Fielder	N/A	Le plus grand producteur alimentaire d'Australie.
John Lusty Group, PLC	N/A	Importateur et exportateur alimentaire basé au R.U.
La Doria	N/A	Premier fabricant Italien de produits à base de tomates.
Northern Foods	N/A	L'un des plus importants producteurs alimentaires du R.U.
United Foods	N/A	Producteur et fabricant privé de légumes, basé aux É.U.

Les entreprises ci-dessus énumérées (à l'exception de Dupont et Cargill) sont identifiées par Helmut Kaiser Consultancy comme jouant un rôle actif dans la recherche en nanotechnologie alimentaire.

* Source : "The World's Top 100 Food and Beverage Companies," *Food Engineering Magazine*, 1^{er} novembre 2003.

† Source : Helmut Kaiser Consultancy.

ANNEXE 2 : Nanobrevets en Alimentation et Emballages Alimentaires

Cessionnaire de brevets	Domaine d'application, Brevet / Numéro de brevet, Date de délivrance ou de publication	Extrait du Brevet
Atofina, France	Emballage WO04012998A3 12/02/2004	"Composition pour emballage alimentaire à partir de résine aromatique de vinyle contenant un remplisseur minéral laminé sous forme de nanoparticules."
Nutralease, Ltd. (Israël)	Biodiffusion US 200330232095A1 18/12/2003	"Les nanoconcentrés de la présente invention permettent la solubilisation, le transport et la dilution efficaces de nutraceutiques, suppléments alimentaires, additifs alimentaires, extraits de plantes, médicaments, peptides, protéines ou hydrates de carbone liposolubles, non liposolubles ou hydrosolubles. Ils peuvent donc constituer des vecteurs efficaces pour véhiculer des matériaux actifs dans l'organisme humain."
Pas d'information	Biodiffusion US200330152629A1 14/08/2003	"Système de diffusion contrôlée permettant d'encapsuler différentes saveurs, marqueurs sensoriels et ingrédients actifs, ou des combinaisons de saveurs, de marqueurs sensoriels et de plusieurs ingrédients actifs, et de diffuser de multiples ingrédients actifs de manière consécutive, l'un après l'autre. Le système de diffusion contrôlée consiste en une poudre fluide, formée de nanosphères hydrophobes encapsulées dans des microsphères sensibles à l'humidité."
Qingtian New Material Research & Development Co. (Chine)	Additif alimentaire CN140996A 16/04/2003	"Nanopoudre antibactérienne ne décolorant pas les aliments et contenant des nanoparticules de phosphate de zirconium, qui assurent un rôle de vecteur, ainsi qu'un composant antibactérien actif. Ses avantages : faible granularité, large spectre, haute compatibilité, stabilité et efficacité antibactérienne, non toxique."
Pengcheng Vocational Univ. (Chine)	Emballage Alimentaire CN1408746A 09/04/2003	"Film plastique antibiotique pour préserver la fraîcheur ; méthode de production."
Henkel KommandiGesellschaft Auf Aktien, Düsseldorf, Allemagne	Transformation Alimentaire, Biodiffusion US6204231 20/03/2001	"Alcali aqueux et caustique destiné au nettoyage des équipements de transformation alimentaire, sous forme de concentré régénéré utilisé directement dans les aliments pour animaux ; contient de l'hydroxide de potassium aqueux et, optionnellement, d'autres alcalis, notamment l'hydroxide de sodium."
Pas d'information	Biodiffusion US6197757 06/03/2001	"Particules, et plus particulièrement microparticules ou nanoparticules, de monosaccharides et oligosaccharides enchaînés ; techniques de fabrication et produits cosmétiques, pharmaceutiques ou alimentaires dans lesquels ils sont présents."
Kraft Foods	Biodiffusion EP1355537A1 29/10/2003	"Production de capsules et particules pour améliorer les produits alimentaires."
BASF	Biodiffusion, Additif alimentaire US5891907 06/04/1999	"Solubilisants aqueux et stables, indiqués pour l'administration parentérale de caroténoïdes et vitamines, ou de dérivés de vitamines, dans lesquels les caroténoïdes et les vitamines non hydrosolubles prennent, sous l'action d'un émulsifiant nonionique, la forme d'une solution micellaire, avec des micelles inférieures à 100 nm."

Cessionnaire de brevets	Domaine d'application, Brevet / Numéro de brevet, Date de délivrance ou de publication	Extrait du Brevet
BASF	Additif alimentaire US5968251 19/10/1999	"Préparations aux caroténoïdes sous forme de poudre dispersable dans l'eau froide, produite... à partir d'une solution moléculaire dispersée de caroténoïde, avec ou sans émulsifiant et/ou huile alimentaire, dans un solvant organique volatile miscible dans l'eau à haute température, auquel on ajoute ensuite une solution aqueuse d'un colloïde protecteur ; puis le composant hydrophile solvant passe à la phase aqueuse, la phase hydrophobe du caroténoïde résultant en phase nanodispersée..."
Rohm and Haas	Biodiffusion EP1447074A2 18/08/2004	"Nanoparticules polymériques pour produits de consommation. Nanoparticules polymériques à liaison transversale de 1 à 10 nm de diamètre, incluant des ingrédients pour le soin de la peau et des ingrédients alimentaires ."
Borealis Technology (Finlande)	Emballage WO04063267A1 29/07/2004	"Article comprenant une composition de polymères étirés avec nanoremplisseurs : article en polymère (film d' emballage alimentaire par exemple) incluant une composition de polymères avec une matrice de polyoléfine et un nanoremplisseur diffusé dans la matrice."
Cap-Solution Nonoscience Ag, (Allemagne)	Biodiffusion WO04030649A2 15/04/2004	"Microcapsules ou nanocapsules contenant un agent soluble dans une faible quantité d'eau, utilisées par exemple pour diffuser rapidement des médicaments administrés par voie orale, et dont la coquille perméable comporte des polyélectrolytes et des contre-ions."
University College Dublin, Université Nationale d'Irlande, Dublin	Additif alimentaire WO04016696A1 26/02/2004	"Méthode pour produire des microparticules imprimées, comprend des microparticules immobilisantes, notamment des nanoparticules, qui seront dessinées sur la surface d'une membrane poreuse, ce qui donne un matériau d'enrobage organique ou inorganique capable de se fixer à des surfaces exposées aux microparticules en question... Les microparticules imprimées qui sont fabriquées peuvent être utilisées dans grand nombre d'applications à la santé, l'information et la communication, et dans un environnement durable comme le logement, l'habillement, l'énergie, l'alimentation , le transport et la sécurité."
Rhodia Chimie, Boulogne-Billancourt Cedex, France	Biodiffusion WO03095085A1 20/11/2003	"Dispersion colloïdale de nanoparticules de phosphate de calcium et d'une protéine au moins, ces nanoparticules étant de forme sphérique et d'une taille comprise entre 50 et 300 nm... L'invention peut s'appliquer à l'alimentation , aux cosmétiques et à l'industrie pharmaceutique."
Shanxi Coal Chemistry Inst., Chinese Academy of Science, Chine	Emballage CN1454939A 12/11/2003	"Méthode de préparation de nanogranules de dioxyde de titane à la surface enrobée d'oxyde d'aluminium. Le diamètre du nanograin de dioxyde de titane est compris entre 10 et 100 nm, sa surface est enrobée d'une membrane en oxyde d'aluminium. Le dioxyde de titane nanométrique enrobé de dioxyde d'aluminium possède de bonnes propriétés de dispersion, il peut provoquer la dispersion d'une seule granule, représente un excellent agent de protection anti-UV et peut être utilisé dans la peinture, le caoutchouc, les fibres, matériaux d'enrobage, protecteurs solaire, l'encre d'impression, l'emballage alimentaire, etc."

Cessionnaire de brevets	Domaine d'application, Brevet / Numéro de brevet, Date de délivrance ou de publication	Extrait du Brevet
Gerold, Lukowski, Jülich, Wolf-Dieter, Ulrike Lindequist, Sabine Mundt	Additif alimentaire DE10310021A1 23/10/2003	"Micro ou nanoparticules de biomasse d'organismes marins riches en lipides, utilisées comme agents actifs par l'industrie pharmaceutique ou cosmétique, ou comme additif alimentaire, pour empêcher par exemple les bactéries d'adhérer à la peau ou au tissu."
Guan-Zhou Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences	Additif alimentaire CN1448427A 15/10/2003	"Avicel nanométrique dispersable dans l'eau, préparation et colloïde : la nanopoudre microcristalline de cellulose est une nanocellulose microcristalline modifiée en surface, à laquelle on ajoute un colloïde hydrophile à concurrence de 5-150 % du pm de la nanocellulose microcristalline, et la taille de son grain oscille entre 6,3 et 100 nanomètres. Durant la préparation, le colloïde hydrophile est dispersé de manière homogène dans le milieu aquatique de la nanocellulose microcristalline à surface modifiée, puis le mélange est ensuite séché et broyé. La nanocellulose microcristalline se diffuse aisément dans l'eau pour former un colloïde homogène, doté d'un fort pouvoir adhésif et conservant la taille réduite de la cellulose microcristalline, de sorte que son domaine d'application est vaste et de premier ordre dans la production d'aliments, la médecine, la fabrication de papier, les textiles, la préparation de nouveaux matériaux, et d'autres domaines encore."
Zhang Liwen Chine	Additif alimentaire, Biodiffusion CN1439768A 03/09/2003	"Nanopoudre de plumes, méthode de fabrication et utilisation : genre de nanopoudre de duvet de plumes utilisée comme additif fonctionnel et de soin de santé dans l'alimentation, les aliments pour animaux, les cosmétiques, la médecine, ou les fibres chimiques. Cette nanopoudre est préparée à partir du duvet de plumes de canard, d'oie, d'oiseaux, etc., qui est lavé à l'eau, trié, pulvérisé, immergé dans l'alcool, séché en centrifugeuse, passé au micro-onde à oscillations, refroidi rapidement, pulvérisé à basse température et tamisé. Ses avantages : aucune perte de composant actif, grande surface d'action spécifique, activité moléculaire, affinité avec l'organisme humain, et plus d'effet supérieur sur les soins de santé."
Nano-Materials Technology Pte Ltd., Singapour Beijing University of Chemical Technology	? WO03055804A1 10/07/2003	"Carbonate de calcium de formes diverses, notamment en épi, pétale, filament, aiguille, lamelle, sphère et fibre. La taille moyenne d'une particule de carbonate de calcium est comprise entre 10 nm et 2,5 µm ; le carbonate de calcium peut être employé dans divers secteurs, comme le caoutchouc, le plastique, la fabrication de papier, l'enrobage, les matériaux de construction, l'encre, la peinture, l'alimentation, la médecine, l'industrie chimique nationale, le textile et la nourriture."
Cellresin Technologies, Llc	Emballage US20030129403A1 10/07/2003	"Matériau obstructeur contenant des nanoparticules de métal, utilisé pour recouvrir des couches de plastique, ou dans les matériaux d'emballage en contact avec les aliments ; comprend des particules de zinc, d'un métal aux réactions similaires, ou d'un alliage de métaux, dispersées dans le matériau à matrice."
Bridgestone Corporation, Tokyo, Japon	Additif alimentaire US6579929 17/06/2003	"Silice stabilisée, méthode de préparation et d'utilisation : on produit de la silice non agglomérée à surface stabilisée... [sa] taille est de l'ordre du nanomètre. La silice non agglomérée à surface stabilisée peut être employée comme additif pour toute application faisant appel à la silice, comme les remplisseurs de renfort pour les produits élastomériques, les aliments, médicaments, dentifrices, encres, toners, revêtements et abrasifs."

Cessionnaire de brevets	Domaine d'application, Brevet / Numéro de brevet, Date de délivrance ou de publication	Extrait du Brevet
Solubest Ltd, Rehovot, Israël	Biodiffusion, Additif alimentaire WO03028700A3 10/04/2003	"Nanoparticules hydrosolubles de matériaux actifs hydrophiles et hydrophobes : cette invention permet de produire des nanoparticules solubles formées d'un noyau (lipophile et non hydrosoluble), d'un composé ou d'un composé hydrophile et d'un polymère amphiphile, et faisant preuve d'une meilleure solubilité et/ou stabilité. Le composé lipophile à l'intérieur des nanoparticules solubles ("solu-nanoparticules") peut être un composé pharmaceutique, un additif alimentaire, un cosmétique, un produit agricole et vétérinaire."
Central P BV, Naarden, Pays-Bas	Biodiffusion WO03024583A1 27/03/2003	Systèmes colloïdaux novateurs dispersables à base de calixarène, sous forme de nanoparticules, destinés à l'usage médical, biologique, vétérinaire, cosmétique et alimentaire, avec des nanoparticules contenant du calixarène modifié par procédé amphiphile."
Wageningen Centre for Food Sciences, Wageningen, Pays-Bas	Aliment WO03011040A1 13/02/2003	"Procédé novateur pour fabriquer une composition aqueuse sous forme de gel, ce procédé faisant appel à une protéine globulaire produisant du gel, comme la protéine de sérum, l'ovalbumine ou la protéine de soja... L'invention concerne également les produits obtenus grâce au procédé ci-dessus mentionné."
Université de Séville, Université de Malaga, Espagne	Biodiffusion, Additif alimentaire WO02060591A1 08/08/2003	"Dispositif et méthode pour produire des flux capillaires liquides à multiples composants stationnaires et des microcapsules et nanocapsules, dont le diamètre peut varier de quelques dizaines de nanomètres à des centaines de microns, et amenant à une pulvérisation relativement monodispersée de gouttelettes multi-composants pourvues de charge électrique, générées par la rupture des flux en raison de l'instabilité capillaire. Le dispositif et la méthode peuvent être employés dans des domaines comme la science des matériaux et la technologie alimentaire, dans la mesure où la génération et manipulation contrôlée de flux structurés à échelle micrométrique et nanométrique constitue une partie importante du procédé."
Mars, Inc.	Additif alimentaire US5741505 21/04/1998	"... Un produit comestible enrobé comprenant... un matériau comestible... et un enrobage inorganique continu à la surface du matériau comestible, l'enrobage en question recouvrant au moins une partie du matériau comestible, et ayant une épaisseur comprise entre 0.0001 et 0.5 microns."
Globoasia, L.L.C., Hanover, Md.	Additif alimentaire (agent de conservation) US6379712 30/04/2002	"L'invention concerne les nanogranules en argent contenant un agent antibactérien et fongicide ("NAG" en Anglais). Les NAG ont un effet inhibitoire de longue durée sur un vaste spectre de bactéries et champignons. Les NAG peuvent être utilisées dans de nombreux produits industriels et les soins de santé... Ces produits industriels incluent, mais ne se limitent pas à, des agents de conservation, des désinfectants pour l'eau et le papier, des matériaux de remplissage employés en construction (pour prévenir l'apparition de moisissures)."
Cognis, Allemagne GmbH, Düsseldorf, Allemagne	Additif alimentaire US6352737 05/03/2002	"Usage de nanostérols et/ou nanoesters de stérol avec des particules d'un diamètre variant de 10 à 300 nm, comme additif alimentaire et substance active dans la production d'agents hypocholestérolémiants. La finesse exceptionnelle des particules favorise une absorption plus rapide par le sérum du sang, après ingestion par voie orale, comparée aux stérols et esters de stérol conventionnels."

Cessionnaire de brevets	Domaine d'application, Brevet / Numéro de brevet, Date de délivrance ou de publication	Extrait du Brevet
Henkel Kga, Düsseldorf, Allemagne	Additif alimentaire DE10027948A1 20/12/2001	"Production d'une suspension de matériau liquéfiable et indécomposable, utilisée par exemple dans les industries pharmaceutique, cosmétique et alimentaire ; comprend la préparation d'une émulsion à partir du matériau en question, une phase liquide et un agent modificateur de surface, puis le refroidissement."
Coletica, Lyons, France	Biodiffusion US6303150 16/10/2001	"Méthode de production permettant d'obtenir des nanocapsules avec des parois de protéines enchaînées, également utilisées dans les produits cosmétiques, pharmaceutiques et alimentaires."
Lu Bingkun Chine	Emballage CN1298902A 13/06/2001	"Procédé de fabrication d'un plastique antibactérien destiné au conditionnement des aliments ou boissons à partir d'une nanopoudre antibactérienne."
Wolff Walsrode Ag. (Allemagne)	Emballage DE19937117A1 08/02/2001	"Film utilisé pour emballer les produits alimentaires, contient au moins une couche de copolyamide comprenant 10 à 2000 ppm nanoparticules dispersées à nucléation."
Tetra Laval Holdings & Finance S.A.	Emballage US6117541 12/09/2000	"Matériau de polyoléfine intégré aux nanoparticules : emballage plastique utilisé pour conditionner les liquides alimentaires, comme le lait ou le jus, comprenant une couche de polyoléfine parsemée de nanoparticules d'argile capables de faire barrage au gaz."
Pas d'information	Emballage US5946930 08/02/2001	"Conditionnement auto-réfrigérant pour aliments et boissons, emploie des nanotubes de fullerène."



ETC Group – Action Group on Erosion, Technology and Concentration – se voue à la conservation et à l’essor durable de la diversité culturelle et écologique ainsi qu’aux droits de la personne. Pour ce faire, ETC Group appuie les avancées socialement responsables des technologies utiles aux populations pauvres et marginalisées, et s’intéresse aux enjeux de la gouvernance qui affectent la communauté internationale. ETC Group surveille également la propriété et le contrôle des technologies et la consolidation du pouvoir des grandes sociétés.

www.etcgroup.org