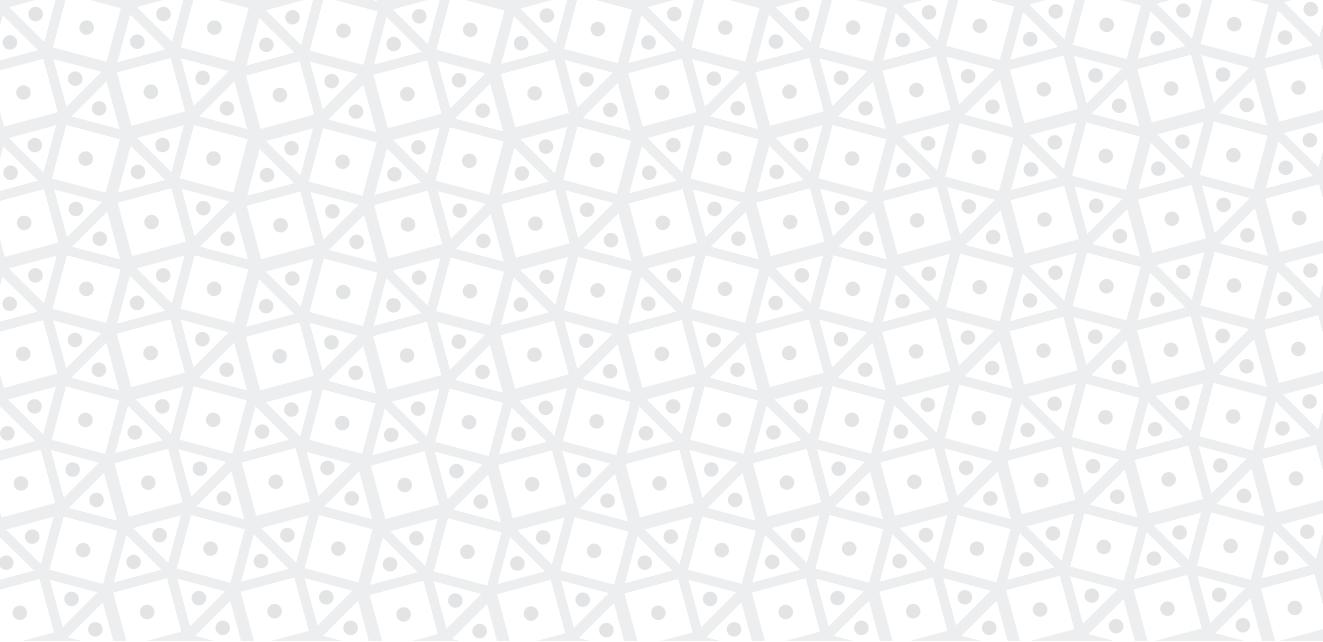


Réunion d'experts FAO/OMS
sur l'application des nanotechnologies
dans les secteurs de l'alimentation et
de l'agriculture: incidences possibles
sur la sécurité alimentaire
Rapport de la réunion



Organisation
mondiale de la Santé





Réunion d'experts FAO/OMS
sur l'application des nanotechnologies
dans les secteurs de l'alimentation et
de l'agriculture: incidences possibles
sur la sécurité alimentaire
Rapport de la réunion

Organisation des Nations Unies
pour l'alimentation et l'agriculture
et Organisation mondiale de la santé
Rome 2011

Tous droits réservés. La reproduction et la diffusion des informations contenues dans le présent ouvrage à des fins éducatives ou autres fins non commerciales sont autorisées sans l'accord préalable écrit des détenteurs des droits d'auteur, à condition que la source soit clairement mentionnée. La reproduction des informations contenues de cet ouvrage pour la revente ou autre motif commercial sans l'autorisation écrite des détenteurs des droits d'auteur est interdite. Les demandes d'autorisation doivent être adressées au chef de la Sous-division des politiques et de l'appui en matière de publications électroniques de la Division de la communication, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italie, ou par courrier électronique à copyright@fao.org; il est en outre possible de s'adresser au Service Presse de l'OMS, Organisation mondiale de la santé, 20 Avenue Appia, 1211 Genève 27, Suisse, par télécopie au +41 22 7914806, ou par courrier électronique à permissions@who.int.

Les appellations employées et la présentation des matériaux dans la présente publication n'impliquent, de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture ou pour l'Organisation mondiale de la santé, aucune prise de position quant au statut juridique ou niveau de développement des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. La mention d'entreprises ou de produits de fabricants spécifiques, qu'ils soient ou non brevetés, ne signifie pas que ceux-ci ont été avisés ou recommandés par la FAO ou l'OMS de préférence à d'autres de nature identique qui ne sont pas mentionnés.

L'Organisation mondiale de la santé et l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture ont adopté toutes les précautions raisonnables pour vérifier les informations reprises dans la présente publication. Toutefois, le matériel publié est distribué sans garantie daucune sorte, explicite ou implicite.

Il incombe au lecteur d'interpréter et d'utiliser le matériel. L'Organisation mondiale de la santé ou l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture ne peuvent en aucun cas être tenues responsables de dommages découlant de son utilisation. Le présent rapport contient les opinions collectives d'un groupe international d'experts et ne correspond pas nécessairement aux décisions ou aux politiques de la FAO ou de l'OMS.

Imprimé en Italie

Citation recommandée: FAO/OMS [Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture/Organisation mondiale de la santé]. Réunion d'experts FAO/OMS sur l'application des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture: incidences possibles sur la sécurité alimentaire. Rapport de la réunion Rome. 144 pages.

ISBN 978 92 4 256393 1 (WHO) (classification NLM: QT 36.5)
ISBN 978 92 5 206506 7 (FAO)

© Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et Organisation mondiale de la Santé (OMS) 2011

Pour de plus amples informations quant aux activités communes de la FAO et de l'OMS, veuillez contacter:

Division de la nutrition et de la protection des consommateurs
Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
Viale delle Terme di Caracalla
00153 Rome, Italie

Télécopie: +39 06 57054593

Courrier électronique: proscad@fao.org

Site web: <http://www.fao.org/ag/agn/agns>

ou

Département Sécurité sanitaire des aliments et des zoonoses
Organisation mondiale de la santé

20, Avenue Appia

1211 Genève 27, Suisse

Télécopie: +41 22 7914807

Courrier électronique: foodsafety@who.int

Site web: <http://www.who.int/foodsafety>



Table des matières

vii	Remerciements	iii
viii	Participants à la réunion	
xii	Déclaration d'intérêts	
xiii	Abréviations et acronymes	
xv	Définitions opérationnelles	
xii	Résumé d'orientation	
xii	<i>Généralités</i>	
xii	<i>Utilisation des nanotechnologies</i>	
xiii	<i>Évaluation des risques pour la santé humaine</i>	
xiv	<i>Susciter la confiance des parties prenantes et le dialogue</i>	
3	Introduction	
3	Généralités	
3	Éléments moteurs et ampleur de l'activité commerciale	
5	Historique de la réunion	
6	Portée et objectifs	
6	<i>Portée</i>	
7	<i>Objectifs</i>	
7	Résultats escomptés	
8	Les applications existantes et annoncées des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture	
8	Portée et objectifs	
9	Introduction	
10	Nanostructures manufacturées dans l'alimentation	
11	Systèmes de nanodistribution par encapsulation	
13	Nanomatériaux intéressants pour les applications alimentaires	
13	<i>Nanomatériaux inorganiques</i>	

15	<i>Nanomatériaux à la surface fonctionnalisée</i>
15	<i>Nanomatériaux organiques</i>
16	Matériaux en contact avec la nourriture et les emballages fondés sur la nanotechnologie
17	<i>Matériaux aux nanoparticules renforcées</i>
19	<i>Principes des emballages intelligents basés sur des nanosenseurs</i>
19	Utilisation des nanotechnologies dans le secteur agricole
20	<i>Aliments pour animaux</i>
20	<i>Produits agrochimiques</i>
22	Perspectives d'avenir
22	<i>Introduction</i>
22	<i>Composites polymériques à base de nanotubes de carbone</i>
23	<i>Films à base de nanocomposite polymérique</i>
23	<i>Composites polymériques avec des substances nanoencapsulées</i>
23	<i>Revêtements antalissoires à l'échelle nanométrique</i>
24	<i>Nanomatériaux pour la prochaine génération d'affichage des emballages</i>
24	<i>Amélioration des performances des polymères bios</i>
25	Résumé
26	L'évaluation des risques pour la santé humaine liés à l'utilisation des nanotechnologies et des nanomatériaux dans secteurs de l'alimentation et de l'agriculture
26	Introduction
27	Identification du problème
28	Évaluation des risques: identification des danger
29	<i>Techniques de caractérisation des propriétés physicochimiques</i>
30	<i>Interaction des nanomatériaux avec la biologie</i>
33	<i>Effets toxicologiques</i>
34	<i>Analyses in vitro et in vivo</i>
36	Caractérisation des dangers
37	<i>Examen de la dose-réponse</i>
37	<i>Différences entre espèces au niveau de la toxicocinétique et de la toxicodynamique spécifiques aux nanoparticules</i>
37	<i>Études épidémiologiques</i>
38	<i>Évaluation de l'exposition</i>
41	Caractérisation des risques

41	Applicabilité du modèle d'évaluation des risques aux nanoparticules
41	<i>Approches ou outils spéciaux requis pour l'évaluation des risques des nanoparticules</i>
42	<i>Examen d'une approche d'évaluation des risques à plusieurs niveaux</i>
43	<i>Réflexions sur le cycle de vie du produit</i>
44	<i>Réflexions sur la santé animale y compris sur l'origine des aliments pour animaux et les résidus dans les tissus animaux</i>
45	Besoins futurs pour l'évaluation et la prévention des risques pour la santé humaine et animale
45	<i>Bases de données</i>
45	<i>Évaluation de l'exposition</i>
45	<i>Identification et caractérisation des dangers</i>
45	Résumé
46	<i>Besoin au niveau des connaissances</i>
46	<i>Besoins au niveau des moyens</i>
47	<i>Besoins au niveau des processus</i>
48	Établissement d'un dialogue transparent et constructif entre les parties prenantes – Confiance des parties prenantes
48	Participation des parties prenantes
48	Communication sur les risques dans le cadre de l'analyse des risques
52	Modèles de participation des parties prenantes
54	Apports en amont pour les stratégies de recherche et le classement du financement de la recherche développement/évaluation des risques
55	Transparence
56	<i>Intérêts et préoccupations de citoyens indépendants</i>
57	Études sur la perception des consommateurs
60	Organisations partenaires
60	<i>Organisations non gouvernementales de défense de l'environnement et des consommateurs</i>
62	<i>Analyses des principaux problèmes</i>
63	<i>Industrie</i>
63	<i>Gouvernements</i>
64	<i>Sciences, politiques scientifiques, groupes de réflexion et organisations professionnelles</i>
65	Théories sur la perception des risques
66	<i>Théorie culturelle</i>

68	<i>Paradigme psychométrique</i>
68	<i>Amplification sociale du risque</i>
69	Une bonne communication
69	<i>Communication et dialogue efficaces entre toutes les parties prenantes</i>
71	<i>Dialogue efficace avec les médias</i>
72	Résumé et conclusions
75	Recommandations
75	Applications des nanotechnologies
75	Évaluation des risques
77	Confiance des parties prenantes
80	Références
Annexes	
97	Annexe 1. Résumé des conclusions de la réunion du groupe restreint
103	Annexe 2. Appel d'experts et appels d'informations
108	Annexe 3. Note d'information pour les participants
110	Annexe 4. Liste des applications existantes et annoncées de la nanotechnologie dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture
115	Annexe 5. Études cas et exemples
115	<i>Étude de cas n° 1. β-cyclodextrine en tant que nanotransporteur</i>
116	<i>Étude de cas n° 2. Oxyde de zinc en tant qu'agent antimicrobien dans les matériaux en contact avec des aliments (hypothétique)</i>
118	Annexe 6. Échanges sur les nanotechnologies
121	Annexe 7. Sujets et processus pour les échanges sur les nanotechnologies

Remerciements

vii

L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et l'Organisation mondiale de la santé (OMS) tiennent à remercier tous ceux et celles qui ont contribué à la réunion d'experts et à la préparation du présent rapport, que ce soit en y consacrant du temps ou en offrant leurs compétences, des données et autres informations pertinentes, ou en révisant le document et en formulant des commentaires.

La FAO et l'OMS remercient également toutes les personnes qui ont répondu à l'appel d'informations qu'elles ont lancé, attirant ainsi l'attention sur des ouvrages qui n'étaient pas facilement accessibles dans les publications courantes et dans documentation officielle.

Elles saluent en outre le soutien de la Food Standards Australia New Zealand (FSANZ) d'Australie et le Ministère italien de la Santé lors de la préparation et de l'organisation de la réunion d'experts.

Enfin, la FAO et l'OMS félicitent l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), l'Organisation mondiale de la santé animale (OIE) et le Secrétariat du Codex pour leur participation à la réunion.

Participants à la réunion

Experts

Linda C. Abbott
Regulatory Risk Analyst
USDA-OCE-ORACBA
Office of Risk Assessment
and Cost-Benefit Analysis
Stop 3811, Room 4038 S
1400 Independence Ave., SW
Washington, DC 20250
États-Unis

Andrew R. Bartholomaeus
General Manager Risk Assessment Branch
Australia New Zealand
PO Box 7186
Canberra BC ACT 2610
Australie

Hans K. Biesalski
Head of Department
Universität Hohenheim
Department of Biological
Chemistry and Nutrition
Garbenstrasse 30
D-70593 Stuttgart
Allemagne

Hans Bouwmeester
Senior Scientist
RIKILT Institute of Food Safety
Wageningen University and Research
Center
Wageningen
Pays-Bas

Qasim Chaudhry
Principal Research Scientist
The Food and Environment
Research Agency (FERA)
Department for Environment
Food and Rural Affairs
Sand Hutton, York, Y041 1LZ
Royaume-Uni

Mitchell Alan Cheeseman
Deputy Director
Office of Food Additive Safety
United States Food and Drug
Administration (FDA)
HFS-200
5100 Paint Branch Parkway
College Park, MD 20740
États-Unis

Hongda Chen
 National Program Leader
 Bioprocess Engineering and
 Nanotechnology
 Cooperative State Research
 Education & Extension Service (CSREES)
 United States Department of Agriculture
 (USDA)
 1400 Independence Ave. SW, Mail Stop
 2220
 Washington, DC 20250-2220
 États-Unis

Antonietta Morena Gatti
 Viale. Argiolas 70
 I-41100 Modena
 Italie

Akihiko Hirose
 Division Head, Division of Risk Assessment
 Centre de recherche en sécurité biologique
 Institut national des sciences de la santé
 1-18-1 Kamiyoga, Setagaya-ku
 Tokyo 158-8501
 Japon

Jennifer Kuzma
 Associate Professor
 Center for Science, Technology,
 and Public Policy
 Hubert H. Humphrey Institute
 160 Humphrey Center
 301-19th Ave. South
 Minneapolis, MN 55455
 États-Unis

Philippe Martin
 Commission européenne
 Direction générale de la Santé et des
 Consommateurs
 B-1049 Bruxelles
 Belgique

Vic J Morris
 Professor
 Institute of Food Research
 Norwich Research Park
 Colney, Norwich NR4 7UA
 Royaume-Uni

Günter Oberdörster
 Professor of Toxicology
 University of Rochester
 Dept. of Environmental Medicine
 Rochester, NY 14642
 États-Unis

Hyun Jin Park
 Professor and Director
 Functional Food Research Center
 Korea University
 #307 Green Campus
 5Ga, Anam-Dong
 Sungbuk-Gu
 Séoul 136-701
 République de Corée

Kimmo E. Peltonen
 Professor
 Head of the Research Unit
 Chemistry and Toxicology Department
 Finnish Food Safety Authority
 Evira
 Mustialankatu 3
 FIN-00791 Helsinki
 Finlande

Caue Ribeiro de Oliveira
 Researcher
 Brazilian Agricultural Research
 Corporation (EMBRAPA)
 Embrapa Agricultural Instrumentation
 Rua XV de Novembro, 1452
 São Carlos, SP
 Brésil

Jo Anne Shatkin
Managing Director
CLF Ventures, Inc.
62 Summer St.
Boston, MA 02110
États-Unis

Conseillers techniques

OCDE
Mar Gonzalez
Administratrice nanosécurité
Division environnement, santé et sécurité
Direction de l'environnement
2 rue André-Pascal
75775 Paris CEDEX 16
France

OIE
Anne MacKenzie
OIE Consultant
6442 Aston Rd.
Manotick, ON
Canada K4M1B3

Codex:
Annamaria Bruno
Chargée des normes alimentaires
Codex Alimentarius, FAO
Viale delle Terme di Caracalla
00153 Rome, Italie

Selma Doyran
Chargée des normes alimentaires
Codex Alimentarius, FAO
Viale delle Terme di Caracalla
00153 Rome, Italie

Conseillers techniques de la FAO

Sasha Koo-Oshima
Chargée de la qualité de l'eau
et de l'environnement
Division de la mise en valeur des terres
et des eaux,
FAO

Viale delle Terme di Caracalla
00153 Rome, Italie

Mark Davis
Division de la protection des végétaux
FAO
Viale delle Terme di Caracalla
00153 Rome, Italie

Annika Wennberg
Secrétariat JECFA
Service de la qualité des aliments
et des normes alimentaires
Viale delle Terme di Caracalla
00153 Rome, Italie

Vittorio Fattori
Service de la qualité des aliments
et des normes alimentaires,
FAO
Viale delle Terme di Caracalla
00153 Rome, Italie

Secréteriat FAO/OMS

Maria de Lourdes Costarrica
Fonctionnaire principale
Service de la qualité des aliments
et des normes alimentaires,
FAO
Viale delle Terme di Caracalla
00153 Rome, Italie

Renata Clarke
Nutritionniste
Service de la qualité des aliments
et des normes alimentaires,
FAO
Viale delle Terme di Caracalla
00153 Rome, Italie

Masami Takeuchi
Spécialiste de la sécurité sanitaire
des aliments (Évaluation)
Service de la qualité des aliments
et des normes alimentaires,
FAO
Viale delle Terme di Caracalla
00153 Rome, Italie

Nicola Santini
Service de la qualité des aliments
et des normes alimentaires,
FAO
Viale delle Terme di Caracalla
00153 Rome, Italie

Kazuko Fukushima
Fonctionnaire technique
Département Sécurité sanitaire des
aliments et des zoonoses,
OMS
20 Avenue Appia, 1211 Genève 27
Suisse

Manfred Lützow
Conseiller temporaire OMS
Feldhofweg 38
5432 Neuenhof
Suisse

Déclaration d'intérêts

xii

Réunion d'experts FAO/OMS sur l'application des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture: incidences possibles sur la sécurité alimentaire

Le Secrétariat a signalé aux personnes présentes à la réunion d'experts que tous les experts participants avaient rempli une déclaration d'intérêts. Douze experts sur 17 ont indiqué un intérêt dans les thèmes abordés¹. Les participants en ont eu connaissance et ont estimé qu'il n'y avait pas de conflits d'intérêts potentiels au sein de la réunion.

¹ Le Secrétariat a noté que les deux experts suivants ont indiqué un intérêt découlant d'activités du secteur privé: le Dr Hans Biesalski a déclaré qu'il menait des recherches financées par une société privée afin d'étudier la biodisponibilité de certains nanoporteurs. La Dr Jo Anne Shatkin a indiqué qu'elle effectuait des travaux de conseils pour des organisations privées.

Abréviations et acronymes

ADME	absorption, distribution, métabolisme et excrétion
AFGC	Australian Food and Grocery Council
APL	acide polylactique
BHE	barrière hématoencéphalique
CGT	cyclodextrine glycosyltransférase
CIAA	Confédération des industries agroalimentaires de l'UE
CSRSEN	Comité scientifique des risques sanitaires émergents et nouveaux
DDL	diffusion dynamique de la lumière
DJA	dose journalière admissible
DSE	dose sans effet
ECETOC	Centre d'écotoxicologie et de toxicologie de l'industrie chimique européenne
EFSA	Autorité européenne de sécurité des aliments
EMA	Agence européenne des médicaments
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FDA	Food and Drug Administration (États-Unis)
FoE	Amis de la Terre
FSANZ	Food Standards Australia New Zealand
GI	gastro-intestinal
GRAS	généralement reconnu inoffensif
IOMC	Programme interorganisations pour la gestion rationnelle des produits chimiques
ISO	Organisation internationale de normalisation
JECFA	Comité mixte FAO-OMS d'experts des additifs alimentaires

xiii

LMR	limite maximale en résidus
MEB	microscope électronique à balayage
MET	microscope électronique par transmission
NISEnet	Nanoscale Informal Science Education Network
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OIE	Organisation mondiale de la santé animale
OMS	Organisation mondiale de la santé
ONG	organisation non gouvernementale
PE	polyéthylène
PEG	polyéthylène glycol
PEI	polyéther imides
PET	polyéthylène téréphthalate
PPS	polysulfure de phényle
PS	polystyrène
PVC	chlorure de polyvinyle
QSAR	relations quantitatives structure-activité
SMC	Science Media Centre
UE	Union européenne
USDA/CSREES	United States Department of Agriculture/ Cooperative State Research, Education, and Extension Service (États-Unis)
UV	ultraviolet

Définitions opérationnelles

Les propriétés spécifiques des nanomatériaux proviennent de leur taille nanométrique, de leur forme et de leur surface potentiellement réactive, etc. Plusieurs définitions s'attachent à cerner ces matériaux et leurs propriétés, les nanocaractéristiques, à l'instar de celles proposées par l'Organisation internationale de standardisation (ISO), par le Comité scientifique des risques sanitaires émergents et nouveaux (CSRSEN), et plus récemment, publiées par l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA, 2009). La réunion d'experts FAO/OMS sur l'application des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture a adopté les définitions reprises dans le Tableau 1.

Tableau 1. Définitions des nanotechnologies, adoptées dans le cadre de la réunion d'experts FAO/OMS sur l'application des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture

(Adaptées d'ISO, 2008; CSRSEN, 2007b et EFSA, 2009)

Terme	Définition
Agglomérat	Série de particules ou d'agrégats faiblement liés, ou combinaison des deux, dont la surface de contact externe qu'ils forment est identique à la somme des surfaces des composants individuels. Groupe de particules (également appelé particules secondaires) reliées entre elles par des forces de faible intensité, comme des forces de van der Waals, certaines forces électrostatiques et/ou des tensions superficielles.
Agrégat	Particule formée de particules fortement liées ou fusionnées dont la surface de contact externe peut être considérablement plus petite que la somme des surfaces calculées des composants individuels. Groupe de particules (également appelé particules secondaires) reliées entre elles par des forces de forte intensité, comme celles résultant d'une pression ou d'une intrication physique complexe.

Tableau 1. (fin)

Terme	Définition
Rapport d'aspect	Taux décrivant la dimension primaire par rapport à la ou les dimension(s) secondaire(s).
Coalescence	Formation d'une nouvelle entité homogène à partir de deux entités, par exemple, après la collision de deux nanoparticules ou nanostructures.
Dégénération (ou nanocapsule)	Décomposition de la structure physicochimique et/ou des caractéristiques organoleptiques d'un matériel.
Nanomatériel manufacturé	Tout matériel produit intentionnellement à l'échelle nanométrique pour avoir des propriétés précises ou une composition déterminée.
Nanotransporteur	Structure à l'échelle nanométrique dont l'objectif est de transporter et d'acheminer d'autres substances.
Nanocomposite	Matériel multiphasé dont la majorité des composants de la phase dispersée sont des nanomatériaux.
xvi Matériel nanocristallin	Matériel qui est composé de plusieurs cristaux, dont la majorité à l'échelle nanométrique.
Nanomatériel	Toute forme de matériel qui a une ou plusieurs dimensions à l'échelle nanométrique.
Nanoparticule	Entité distincte dont les trois dimensions sont à l'échelle nanométrique.
Nanotige (nanofibre, nanofil, nanotrichite)	Matériaux sous forme de tiges, fibres, fils, trichites, etc. qui ont au moins deux dimensions à l'échelle nanométrique.
Échelle nanométrique	Dimensions de taille qui se situent habituellement entre environ 1 et 100 nm. Il s'agit d'une fourchette de tailles dans laquelle les propriétés des matériaux sont le plus susceptibles de changer par rapport à leurs équivalents en vrac. La véritable fourchette de tailles dépendra des propriétés fonctionnelles étudiées.
Nanofeuille	Nano-objet dont l'une des dimensions externes est à l'échelle nanométrique.
Nanostructure	Toute structure composée de parties fonctionnelles distinctes, à l'intérieur ou à sa surface, dont au moins une est à l'échelle nanométrique. Souvent utilisée de la même façon qu'un «nanomatériel».
Nanotube	Fibre creuse distincte qui a deux dimensions à l'échelle nanométrique.
Biopersistant	Substance qui a été absorbée, mais qui n'est pas immédiatement décomposée ou excrétée.

Résumé d'orientation

Généralités

1. Les gouvernements, les industriels et les scientifiques ont identifié le potentiel des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture et investissent considérablement dans leur application dans le domaine de la production alimentaire. Toutefois, étant donné que l'on dispose de connaissances limitées sur les effets de ces applications sur la santé humaine, les parties prenantes ont reconnu qu'il fallait examiner sans plus tarder les incidences de ces technologies sur la sécurité alimentaire.
2. Face à ce développement accéléré, la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) et l'OMS (Organisation mondiale de la Santé) ont convoqué une réunion d'experts sur «l'application des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture: incidences possibles sur la sécurité alimentaire» afin de recenser d'autres travaux qui peuvent être nécessaires pour examiner cette question à l'échelle mondiale.
3. Dix-sept experts de disciplines pertinentes, telles que les technologies alimentaires, la toxicologie et la communication, se sont réunis au Siège de la FAO du 1er au 5 juin 2009, dans le cadre de groupes de travail et de séances plénières consacrés aux trois principaux domaines suivants: utilisation des nanotechnologies dans la production et la transformation des aliments; risques potentiels pour la santé humaine associés à cette utilisation; éléments d'un dialogue transparent et constructif sur ces technologies entre les parties prenantes.

Utilisation des nanotechnologies

4. Les nanotechnologies offrent des possibilités considérables pour le développement de produits et applications innovants dans l'agriculture, le traitement de l'eau et la production, la transformation, la conservation et l'emballage des aliments; leur utilisation peut apporter des avantages potentiels aux agriculteurs, aux industriels de l'agroalimentaire et aux consommateurs.
5. Les produits alimentaires et les aliments diététiques fondés sur les nanotechnologies, de même que les matériaux d'emballage alimentaire, sont déjà disponibles pour le

consommateur dans certains pays, et d'autres produits et applications en sont au stade de la recherche-développement, dont certains seront peut-être mis sur le marché prochainement. Compte tenu de ces progrès, on s'attend à ce que les produits alimentaires dérivés des nanotechnologies soient de plus en plus disponibles pour le consommateur ces prochaines années et ce, partout dans le monde.

6. Les matériaux produits intentionnellement avec des caractéristiques structurelles à une échelle nanométrique (entre 1 et 100 nm) peuvent avoir des propriétés différentes en comparaison de ceux qui sont produits par des méthodes conventionnelles. Ils seront utilisés dans une palette d'applications, par exemple dans les matériaux d'emballage alimentaire qui permettront d'éviter une dégradation microbienne des aliments, en tant qu'additifs alimentaires qui modifient le goût et la texture des aliments, dans les nutriments (les vitamines par exemple) entraînant une biodisponibilité accrue, et dans les produits agrochimiques, où ils ouvriront par exemple de nouvelles voies pour l'utilisation de pesticides dans les plantes. L'impact sur la santé humaine dépendra de l'exposition du consommateur à ces matériaux et du comportement différent de ces derniers par rapport à leurs homologues classiques et de plus grandes dimensions.
7. Les experts participant à la réunion ont reconnu qu'il fallait se mettre d'accord sur des définitions claires et harmonisées au niveau international ayant trait à l'application des nanotechnologies dans la chaîne alimentaire, et élaborer une procédure pour classer les nanostructures, laquelle aiderait les gestionnaires des risques. À l'échelle internationale, il faut identifier les lacunes possibles dans les procédures de fixation des normes alimentaires, telles qu'appliquées par la Commission du Codex Alimentarius, et les combler.

Évaluation des risques pour la santé humaine

8. À la réunion, les experts ont reconnu que les méthodes actuelles d'évaluation des risques utilisées par la FAO et l'OMS et le Codex étaient adaptées pour les nanomatériaux manufacturés qui sont utilisés dans l'alimentation et l'agriculture, et ont souligné que d'autres préoccupations de sécurité risquaient d'être soulevées compte tenu des propriétés de ces nanomatériaux et qu'elles restaient à examiner.
9. À mesure que la taille des particules diminue, la zone de surface spécifique augmente de manière inversement et non linéairement proportionnelle à la taille, jusqu'à ce que les propriétés des molécules de surface prédominent. Cela entraîne des caractéristiques nouvelles qui sont déterminées par le ratio élevé surface/volume et qui risquent également de donner naissance à des profils de toxicité modifiés. Cette très grande surface de contact des nanomatériaux manufacturés peut avoir diverses conséquences qu'il convient de prendre en considération dans l'évaluation des risques puisqu'elle les rend différents de leurs homologues à l'échelle micro/macroscopique.
10. Du fait de leurs propriétés physicochimiques particulières, on s'attend à ce que les nanoparticules interagissent avec d'autres substances présentes dans les aliments, comme les protéines, les lipides, les glucides et les acides nucléiques. Il importe donc

que les effets et les interactions de ces nanomatériaux soient définis dans une matrice alimentaire pertinente.

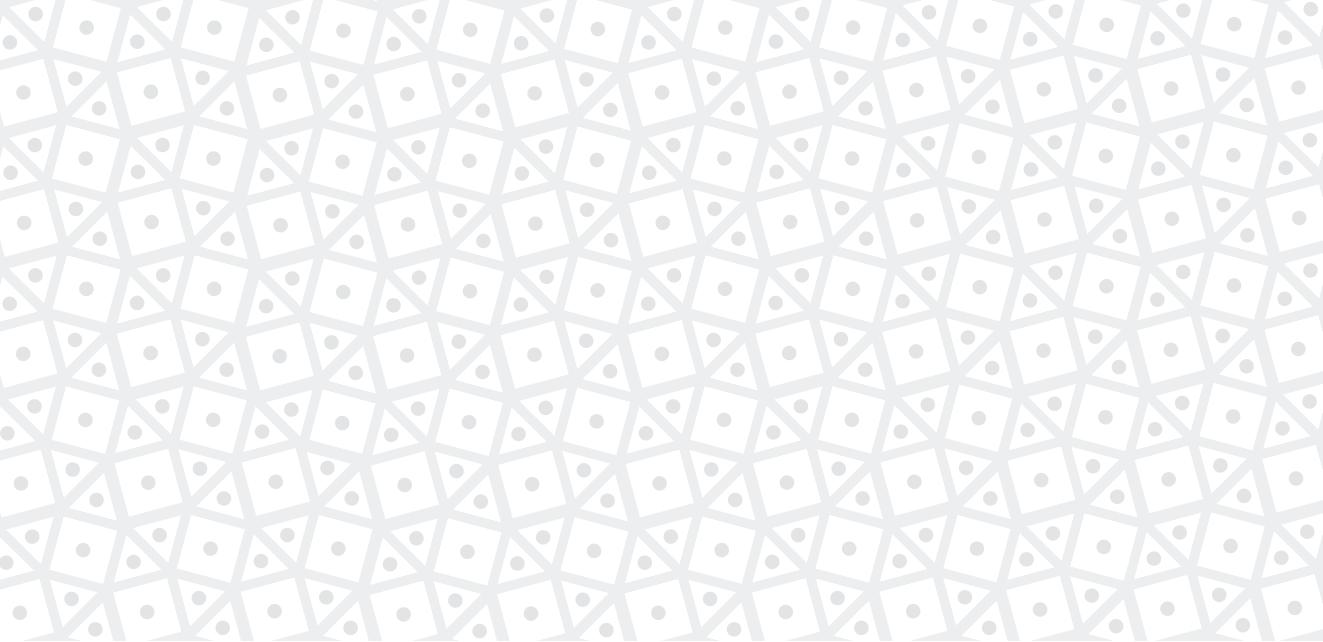
11. Il faut aussi considérer les aspects du cycle de vie des nanomatériaux manufacturés dans l'évaluation des risques, par exemple pour analyser leur devenir dans l'environnement, qui risque de se traduire par une exposition humaine indirecte à des substances qui ne sont pas utilisées intentionnellement dans les produits alimentaires.
12. Les experts sont convenus que la FAO et l'OMS devaient continuer d'examiner leurs stratégies d'évaluation des risques, en particulier à l'aide de méthodes à plusieurs niveaux, afin de résoudre les nouvelles questions spécifiques liées à l'application des nanotechnologies dans la chaîne alimentaire. Une approche à plusieurs niveaux pourrait permettre de hiérarchiser les types ou les classes de matériaux pour lesquels il est sans doute nécessaire d'obtenir des données supplémentaires afin de réduire les incertitudes qui existent dans l'évaluation des risques.
13. Les experts ont recommandé que la FAO et l'OMS encouragent la recherche novatrice et interdisciplinaire pouvant déboucher sur de nouvelles stratégies d'évaluation des risques concernant l'application des nanotechnologies dans les produits alimentaires (dont l'eau) et les aliments pour animaux, tout en maintenant ou en améliorant le niveau actuel de protection. Il a aussi été convenu que l'élaboration de méthodes de test validées et d'orientations contribuerait à combler le manque de données spécifiques.

Susciter la confiance des parties prenantes et le dialogue

14. Les experts ont analysé les conditions générales relatives à la participation des parties prenantes, considérée comme impérative pour aborder toute question émergente ou controversée dans le domaine de la sécurité alimentaire. L'introduction des nanotechnologies dans les produits alimentaires et le débat en cours sur ce sujet ont été examinés sous l'angle des principaux groupes d'intérêts qui se sont engagés à ce jour, de même que les initiatives pour entamer le dialogue qui ont été prises par des gouvernements, des groupes de réflexion et des organisations internationales.
15. Il est entendu qu'il sera essentiel au succès d'une stratégie de recherche dans le domaine des nanomatériaux de se pencher sur les principaux intérêts, priorités et préoccupations des parties prenantes et de veiller à ce que la recherche parrainée se penche sur les voies possibles et les risques potentiels.
16. Les experts ont reconnu que les attitudes des consommateurs à l'égard de l'application des nanotechnologies dans l'alimentation et l'agriculture étaient complexes: ils veulent en comprendre les risques et les avantages potentiels, et souhaitent obtenir des avantages tangibles. En l'absence d'avantages manifestes, il y a peu de chances que les consommateurs aient une impression positive des produits alimentaires améliorés par les nanotechnologies.
17. En tant que dénominateur commun à presque tous les groupes de sensibilisation, les experts ont identifié la nécessité de mener une discussion en vue de déterminer les interventions de politique générale nécessaires concernant l'introduction de

particules et de processus nanomanufacturés dans des produits commerciaux tant que les menaces potentielles pour la sécurité ne pourront être mesurées et évaluées comme il conviendra. Ces groupes ont presque tous exprimé le souhait que l'industrie et les gouvernements mettent en œuvre des mesures pour protéger la santé et la sécurité des employés et du public des conséquences d'une dispersion dans l'environnement de nanoproduits commerciaux.

18. Une participation accrue des scientifiques au débat public, lesquels feraient partager les données factuelles et leurs arguments d'experts, viendrait étayer un débat public éclairé et aiderait le public à tirer ses propres conclusions une fois qu'il aurait pris connaissance des différentes opinions compétentes.
19. Les participants à la réunion ont proposé que la FAO et l'OMS constituent une tribune pour nouer un dialogue continu à l'échelle internationale afin d'élaborer des stratégies pour résoudre les problèmes des parties prenantes liés au développement des nanotechnologies dans l'alimentation et l'agriculture.
20. La FAO et l'OMS devraient encourager les pays Membres à susciter la participation du public dans les applications des nanosciences et des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture. À l'appui de cet engagement, la FAO et l'OMS devraient fournir des orientations, dispenser une formation et allouer des ressources pour le renforcement des capacités afin que les gouvernements puissent engager la participation des parties prenantes. Ces deux Organisations devraient également revoir le cadre FAO/OMS existant d'analyse des risques pour la sécurité alimentaire à la lumière d'autres cadres de discussion et d'analyse, eu égard en particulier à l'engagement des parties prenantes.
21. Reconnaissant leur importance pour bâtir la confiance, les experts ont proposé que la FAO et l'OMS recensent des mécanismes pour appuyer le besoin de transparence et de traçabilité des produits fondés sur les nanotechnologies ou des nanomatériaux manufacturés dans l'alimentation et l'agriculture et leurs risques associés. L'importance de la communication et de la coopération avec d'autres organisations intergouvernementales a été soulignée.



Réunion d'experts FAO/OMS
sur l'application des nanotechnologies
dans les secteurs de l'alimentation et
de l'agriculture: incidences possibles
sur la sécurité alimentaire
Rapport de la réunion

Introduction

Généralités

L'avènement de la nanotechnologie a ouvert de vastes perspectives pour le développement de nouveaux produits et applications dans de nombreux secteurs industriels et de la consommation. Ces dernières années, les nouveautés technologiques ont déjà permis à une industrie de plusieurs milliards de dollars de voir le jour, dont on estime que le poids sur le marché mondial pourrait atteindre 1 trillion de dollars US d'ici 2015 et employant près de 2 millions de personnes (Roco et Bainbridge, 2001). Même si les États-Unis produisent et utilisent la majorité des matériaux à l'échelle nanométrique, l'Union européenne n'est pas à la traîne, détenant 30 pour cent de la part mondiale du secteur (Aitken *et al.*, 2006; Chaudhry *et al.*, 2005). À l'instar d'autres secteurs, la nanotechnologie a promis de révolutionner la chaîne alimentaire tout entière – production, transformation, entreposage et mise au point d'applications, de matériaux et de produits. Toutefois, alors que les possibilités d'application de la nanotechnologie sont énormes, son utilisation actuelle dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture est relativement restreinte en raison du caractère émergent de cette science. Un inventaire de plus de 800 produits de consommation issus des nanotechnologies actuellement disponibles dans le monde (Woodrow Wilson International Centre for Scholars, 2009) suggère en effet que seuls 10 pour cent d'entre eux sont des aliments, des boissons et des emballages alimentaires. Toutefois, ces dernières années, les applications et les produits dérivés des nanotechnologies dans ces secteurs se sont multipliés et devraient encore croître rapidement à l'avenir du fait de l'énorme potentiel de ces nouvelles technologies à répondre à de nombreux besoins actuels de l'industrie.

Éléments moteurs et ampleur de l'activité commerciale

Comme tout autre secteur, l'industrie alimentaire évolue au gré des innovations, de la concurrence et de la rentabilité. Elle est donc toujours à la recherche de nouvelles technologies pour améliorer le goût, la saveur et la texture de ses produits, en prolonger la durée de conservation et en perfectionner la sécurité et la traçabilité. D'autres pressions,

que génèrent notamment l'importance accrue que les consommateurs portent à leur santé et les contrôles réglementaires plus stricts, ont également poussé l'industrie à rechercher de nouvelles façons de réduire les quantités de sel, de sucre, de graisse, de colorants artificiels et d'agents de conservation dans ses produits, et à réagir face à certains maux liés à l'alimentation comme l'obésité, l'hypertension artérielle, le diabète, les maladies cardiovasculaires, les troubles digestifs, certains types de cancer (par exemple, le cancer des intestins) et les allergies alimentaires. Les besoins en matière d'emballages alimentaires ont également évolué avec le temps vers des matériaux d'emballage plus solides, mais légers, recyclables et fonctionnels. Des étiquettes «intelligentes» ont fait leur apparition, pouvant contrôler la qualité, la sûreté et la sécurité des aliments lors de leur transport et de leur entreposage. D'autres pressions sociétales et technologiques plus «récentes» sont venues faire évoluer l'industrie alimentaire, comme la nécessité de contrôler les pathogènes et certains dioxydes dans les aliments, de réduire la quantité d'emballages et de déchets alimentaires, et de réduire l'empreinte écologique du cycle de vie des produits et des processus alimentaires. C'est pourquoi l'arrivée de la nanotechnologie a fait naître l'espoir qu'elle pourrait satisfaire bon nombre de ces besoins industriels.

Les principaux avantages des nanotechnologies par rapport aux autres technologies découlent des fonctionnalités améliorées ou novatrices de matériaux et de substances à l'échelle nanométrique (désignés collectivement par le terme «nanomatériaux») qui disposent également d'un taux beaucoup plus élevé surface/masse par rapport à leurs équivalents en vrac. La très petite taille des nanomatériaux permet la dispersion d'additifs insolubles dans l'eau (comme les colorants, les parfums et les agents de conservation) dans des produits alimentaires sans qu'il soit nécessaire d'ajouter des graisses ou des agents tensioactifs supplémentaires. La réduction à l'échelle nanométrique des substances bioactives améliorerait aussi l'acceptation, l'absorption et la biodisponibilité dans l'organisme par rapport aux substances en vrac. Des ingrédients et additifs à l'échelle nanométrique et nanoencapsulés servent à la mise au point de textures, de parfums et de goûts améliorés ou nouveaux, et de produits aux valeurs nutritionnelles améliorées. L'avènement des nanotechnologies a également permis le développement de matériaux d'emballage inédits, de nanocapteurs et de technologies qui permettent d'améliorer la sûreté, la traçabilité et la durée de conservation des produits alimentaires. De telles perspectives ont ouvert une nouvelle vague de possibilités à diverses applications novatrices dans l'agriculture, l'alimentation et les secteurs connexes.

Il apparaît comme une évidence des rapports disponibles que les États-Unis, suivis du Japon et de la Chine, montrent la voie au niveau de l'application des nanotechnologies dans l'alimentation (Helmut Kaiser Consultancy, 2004). Les possibilités de croissance dans les pays en développement sont considérables. Même si le secteur de la nanoalimentation n'en est encore qu'à ses balbutiements, le poids total du marché mondial des nanomatériaux manufacturés en 2006 était estimé à environ 7 milliards de dollars US et il est prévu qu'il augmente encore pour atteindre 20 milliards de dollars d'ici 2015 (Helmut Kaiser Consultancy, 2004). Un autre rapport, de la société de conseils, Cientifica, a évalué les applications alimentaires des nanotechnologies en 2006 à environ 410 millions de dollars US (100 millions pour la transformation des



aliments, 100 millions pour les ingrédients alimentaires et 210 millions pour les emballages alimentaires). Selon le rapport, les applications existantes concernent principalement de meilleurs emballages alimentaires; quelques applications touchent les systèmes de livraison des nutraceutiques. Il estimait en outre que d'ici 2012, la valeur générale du marché atteindrait 5,8 milliards de dollars US (1 303 millions pour la transformation alimentaire, 1 475 millions pour les ingrédients alimentaires, 97 millions pour la sécurité sanitaire des aliments et 2,93 millions pour les emballages alimentaires) (Cientifica, 2006). Alors que les applications alimentaires (diététiques) dérivées des nanotechnologies sont en pleine expansion partout dans le monde, presque aucune ne concerne l'Europe, même si quelques compléments et matériaux d'emballages alimentaires sont disponibles au sein de l'Union européenne. Toutefois, au vu de l'évolution rapide dans ce domaine et de la structure mondiale des principales sociétés alimentaires, il n'est pas déraisonnable de penser que les produits nanoalimentaires seront de plus en plus présents sur les marchés mondiaux dans les années à venir.

Des estimations avancent le chiffre de 400 sociétés qui appliqueraient actuellement des nanotechnologies aux aliments (Cientifica, 2006). Du reste, plusieurs grandes entreprises du secteur des aliments et des boissons auraient un intérêt actif dans l'application de la nanotechnologie dans les domaines abordés dans le présent rapport.

Historique de la réunion

De nombreux pays ont pris conscience du potentiel des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture et investissent considérablement dans ses applications dans la production alimentaire. Toutefois, du fait de nos connaissances limitées des effets sur la santé humaine de ces applications, bon nombre de nations estiment qu'il faut examiner sans plus tarder les incidences de ces technologies sur la sécurité sanitaire des aliments.

Pour répondre à ces attentes, la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) et l'OMS (Organisation mondiale de la Santé) ont pensé qu'il était opportun de convoquer une réunion d'experts sur «l'application des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture: incidences possibles sur la sécurité alimentaire» afin de recenser d'autres travaux qui pourraient être nécessaires en vue de l'examen de cette question à l'échelle mondiale.

Dans un premier temps, un groupe restreint a été établi pour aider à l'organisation et à la planification de la réunion d'experts. Ses participants ont formulé des recommandations sur les meilleures approches pour conseiller en matière de nanotechnologie et se sont particulièrement intéressés à la portée et aux objectifs de la réunion, y compris les principaux points à débattre, l'expertise requise et le besoin de revoir des documents abordant les principaux thèmes liés aux incidences possibles de la nanotechnologie sur la sécurité sanitaire des aliments. Le résumé de la réunion du groupe restreint est joint en Annexe 1.

Le groupe restreint a noté qu'il était opportun d'adopter une approche fondée sur l'ensemble de la filière alimentaire au moment d'examiner l'utilisation des nanomatériaux

dans la production primaire et leur transmission possible aux produits alimentaires. De plus, des nanomatériaux pourraient être recyclés, ce qui pourrait les faire entrer à nouveau dans la chaîne alimentaire.

Pour conclure, le groupe restreint est convenu des trois thèmes suivants à examiner lors de la réunion d'experts:

- Les applications existantes et envisageables des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture;
- L'évaluation des risques pour la santé humaine liés à l'utilisation des nanotechnologies et des nanomatériaux dans secteurs de l'alimentation et de l'agriculture; et
- La mise en place d'un dialogue transparent et constructif entre les parties prenantes.

L'objectif des réunions d'experts de la FAO et de l'OMS est d'orienter et de conseiller les gouvernements nationaux à propos de questions spécifiques liées à la sécurité sanitaire des aliments. Conformément aux règles et aux procédures des réunions conjointes d'experts FAO/OMS, un appel d'experts et un appel d'informations (voir Annexe 2) ont été lancés et 17 experts ont été choisis par un comité de sélection selon les critères décrits dans l'appel d'experts. Plusieurs matériels d'information importants ont été reçus dans le cadre de l'appel d'informations, lesquels ont été distribués aux experts avant la réunion. Lorsque ces matériels ont été jugés pertinents pour les délibérations, ils ont été inclus dans la liste de références.

Afin de dresser l'inventaire des activités, actuelles et à venir, impliquant des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture, il a été suggéré que la réunion d'experts inclue des représentants des principales agences internationales en tant que personnes-ressources qui résumerait leurs rôles et les activités/projets/programmes prévus dans le cadre d'applications de nanotechnologies. Des conseillers techniques de l'OCDE, de l'OIE et du Codex Alimentarius ont donc été invités à participer aux côtés des personnes-ressources sectorielles de la FAO et de l'OMS (protection des végétaux, santé animale, nutrition et qualité de l'eau). Les mandats des conseillers techniques sont inclus dans la note d'information pour les participants, jointe en Annexe 3.

Portée et objectifs

Portée

La réunion d'experts s'est intéressée aux nanotechnologies, existantes et annoncées, appliquées aux secteurs de l'alimentation et de l'agriculture, et plus particulièrement à:

- l'application des nanotechnologies à tous les aspects de la production primaire de denrées d'origine végétale et animale;
- l'application des nanotechnologies à la transformation, au conditionnement et à la distribution des aliments;
- l'utilisation d'outils de nanodiagnostic pour la détection et la surveillance dans la production alimentaire et agricole; et
- les nanotechnologies appliquées à l'environnement si elles pouvaient avoir un impact direct sur la sécurité sanitaire tout au long de la chaîne alimentaire, par l'intermédiaire de l'environnement.

La réunion d'experts n'a pas été priée d'aborder les problèmes de santé au travail que posent l'utilisation et l'application des nanotechnologies dans les domaines de l'alimentation et de l'agriculture, même si ces questions ont été notées afin de les examiner ultérieurement dans un autre contexte.

Objectifs

La réunion d'experts avait pour but général de donner aux États membres des informations complètes et détaillées sur l'état des connaissances actuelles à propos des risques sanitaires potentiels pour les denrées, d'identifier des domaines d'activités prioritaires pour mieux évaluer ces risques, et de donner des avis sur les moyens de promouvoir un dialogue transparent et constructif entre les parties prenantes.

À cet égard, ses objectifs étaient les suivants:

- faire un inventaire des applications existantes et annoncées des nanotechnologies dans les domaines de l'alimentation et de l'agriculture;
- identifier les conséquences potentielles pour la sécurité sanitaire des aliments associées aux applications existantes et annoncées des nanotechnologies dans les domaines de l'alimentation et de l'agriculture;
- déterminer les outils ou paramètres supplémentaires nécessaires et identifier toutes les données requises et les lacunes des recherches;
- envisager les possibilités d'appliquer les méthodes d'évaluation des risques actuelles pour évaluer la sécurité des nanomatériaux utilisés dans la chaîne alimentaire;
- identifier des domaines prioritaires pour lesquels des avis scientifiques devraient être demandés à la FAO et à l'OMS conformément au Cadre conjoint de ces deux organisations pour la fourniture d'avis scientifiques; et
- donner des orientations sur les voies et les moyens de promouvoir un dialogue transparent et empreint de confiance entre toutes les parties prenantes.

Résultats escomptés

La réunion d'experts devait:

- fournir des informations sur les applications existantes et émergentes des nanotechnologies, avec notamment un point des connaissances sur les incidences sur la sécurité sanitaire des aliments, ainsi que sur tous les risques potentiels, y compris sur les moyens actuellement disponibles pour évaluer les risques;
- formuler (ou recommander) un plan à moyen terme des activités qui pourraient s'avérer nécessaires ultérieurement pour évaluer avec précision ces risques; et
- présenter une analyse des efforts accomplis dans différents pays pour promouvoir la communication entre les parties prenantes et donner des avis pour faciliter un dialogue transparent et constructif.

Les applications existantes et annoncées des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture

Portée et objectifs

Même si les nanotechnologies ouvrent de nombreuses possibilités d'innovation, l'utilisation de nanomatériaux dans des applications alimentaires et agricoles soulève aussi beaucoup de questions liées à la sécurité, à l'environnement, à l'éthique, aux politiques et à la réglementation. Les principales préoccupations ont trait aux effets possibles sur la santé humaine et l'environnement que pourrait générer une exposition à des matériaux à l'échelle nanométrique.

Le présent chapitre présente un aperçu des multiples applications actuelles et projetées des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture. D'autres applications, qui pourraient mener à une exposition humaine à des nanoparticules le long de la chaîne de production alimentaire par l'intermédiaire de l'environnement, ont également été analysées. Le chapitre fournit des informations sur les applications des nanotechnologies connues et projetées, sur la portée et l'objectif des applications, les types et les formes des nanomatériaux utilisés, la disponibilité des produits sur le marché et les possibilités d'exposition des êtres humains aux nanoparticules. Il résume enfin l'état des connaissances en matière d'applications des nanotechnologies dans l'agriculture et la production alimentaire, et pour les ingrédients alimentaires, les additifs, les compléments et les matériaux qui sont en contact avec les denrées.

Les informations présentées dans le présent chapitre ont été obtenues de diverses sources dont des études publiées, des sites web de sociétés, des bases de données de brevets, des inventaires nationaux et internationaux, des rapports d'analyse des marchés, d'importants rapports et études scientifiques, des documents présentés lors de conférences, ateliers et symposiums, et grâce à des contacts avec des experts de renom dans le domaine des applications des nanotechnologies (Chaudhry *et al.*, 2007; 2008).

Il est également intéressant de mentionner que l'objectif principal de certaines des informations actuellement disponibles (surtout sur internet) est de présenter le côté «magique» des nanotechnologies lorsqu'elles sont appliquées aux secteurs de l'alimentation et de l'agriculture, et qu'elles ne fournissent donc aucune preuve pouvant



être reliée à un «vrai» produit ou application, disponible aujourd’hui ou dans quelques années. Par conséquent, le présent chapitre a examiné objectivement les informations disponibles et ne présente que les produits et les applications qui ont été identifiés comme existants ou en cours de recherche-développement plutôt que ceux qui relèvent purement de la spéculation².

Introduction

Il y a quelque temps, il a été suggéré que les propriétés des matériaux pourraient être manipulées à de très petites échelles (Feynman, 1959). L’arrivée de la nanotechnologie a permis d’étudier et de manipuler de façon systématique les propriétés des matériaux à l’échelle nanométrique avec une régularité et une précision jusqu’alors inconnues. À ce propos, l’attention s’est principalement portée sur les nanomatériaux spécifiquement manufacturés pour obtenir une propriété ou composition précise. Dans bon nombre de produits et d’applications, comme les matières plastiques pour les emballages alimentaires, il est possible d’ajouter des nanomatériaux en les fixant, les liant ou les intégrant; ils ne constituent ainsi aucun nouveau risque ou menace supplémentaire pour la santé des consommateurs ou pour l’environnement (dès lors qu’ils sont utilisés et éliminés correctement). D’autres applications peuvent présenter un risque plus important d’exposition pour les consommateurs à des nanomatériaux manufacturés libres, par exemple, certains aliments et boissons qui pourraient contenir des nanoparticules libres ou une préparation nanopesticide qui pourrait être délibérément rejetée dans l’environnement.

Un examen superficiel des applications actuelles et annoncées des nanotechnologies suggère que bon nombre d’entre elles sont apparues à partir de technologies similaires mises au point dans les secteurs connexes, surtout dans les secteurs pharmaceutique, médical et cosmétique. La nature intersectorielle des nanotechnologies implique que les matériaux et les applications développés dans un domaine trouvent progressivement leur place dans d’autres secteurs connexes (Cientifica, 2006; Chaudhry *et al.*, 2008). Cela s’explique également par un certain degré de chevauchement entre les secteurs de l’alimentation, de la médecine et des produits de beauté. De nombreux produits alimentaires sont commercialisés en tant que moyens d’améliorer la nutrition et d’aides à la santé, à la beauté et au bien-être. Ces sous-secteurs, par exemple, les aliments sains, les compléments, les nutraceutiques, les cosméceutiques et les nutricosmétiques, semblent être les premières cibles des applications des nanotechnologies. C’est la raison pour laquelle une grande majorité des produits dérivés des nanotechnologies disponibles à ce jour sont catégorisés comme des compléments, des aliments diététiques et des nutraceutiques; actuellement, seuls quelques produits sont placés dans les catégories des aliments et des boissons.

Plusieurs études et rapports récents ont répertorié les applications des nanotechnologies actuelles et annoncées à court terme pour le secteur alimentaire

² «La ‘fabrication moléculaire d’aliments’, à partir d’atomes et de molécules, pourrait un jour être prometteuse» (Cientifica, 2006).

(Bouwmeester *et al.*, 2007; Chaudhry *et al.*, 2008; Food Safety Authority of Ireland, 2008; Groves, 2008; Kuzma & VerHage, 2006; Morris, 2008). Les principaux domaines d'application sont les emballages et les produits alimentaires qui contiennent des ingrédients et des additifs à l'échelle nanométrique ou nanoencapsulés. Le principe clé qui sous-tend la mise au point d'ingrédients et d'additifs à l'échelle nanométrique semble être directement lié à une meilleure acceptation et biodisponibilité des nanosubstances dans l'organisme même si d'autres avantages, comme l'amélioration du goût, de la consistance, de la stabilité, de la texture, etc. entreraient également en ligne de compte (Chaudhry *et al.*, 2008).

Les nanomatériaux manufacturés sont principalement appliqués aux matériaux en contact avec les aliments, comme les concepts novateurs d'emballage destinés à développer des nanomatériaux manufacturés composites polymériques qui ont amélioré les propriétés mécaniques ou l'action antimicrobienne, et les nano(bio)senseurs destinés aux étiquettes innovantes des produits alimentaires emballés. Les applications des nanomatériaux manufacturés aux emballages alimentaires représenteraient la plus grande part du marché actuel et prévu à court terme pour les applications de la nanoalimentation (Cientifica, 2006).

Les autres applications des nanotechnologies, actuelles et projetées à court terme, sont les ingrédients et les additifs à l'échelle nanométrique ou nanoencapsulés qui pourraient avoir une multitude d'applications dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture. Vous en trouverez un résumé en Annexe 4. Voici les principales catégories d'applications connues et projetées pour les domaines de l'alimentation et des aliments diététiques récemment mises au jour par une étude de Chaudhry *et al.* (2008):

- où des ingrédients alimentaires ont été transformés ou formulés pour former des nanostructures;
- où des additifs à l'échelle nanométrique ou nanoencapsulés ont été utilisés dans l'alimentation;
- où des nanomatériaux manufacturés ont été intégrés à des revêtements et à des matériaux d'emballage pour mettre au point de nouvelles surfaces et de nouveaux matériaux en contact avec des aliments, et des nano(bio)senseurs pour les emballages «intelligents»;
- où des nanomatériaux ont été utilisés lors de la nanofiltration pour retirer les composants indésirables des denrées alimentaires;
- où des applications de nanomatériaux manufacturés ont été proposées pour des pesticides, des médicaments vétérinaires et d'autres produits agrochimiques afin d'améliorer les systèmes de production alimentaire.

Nanostructures manufacturées dans l'alimentation

L'un des principaux domaines d'application de la nanotechnologie dans la transformation des aliments implique la mise au point de nanostructures (également appelées nanotextures) dans les denrées alimentaires. Les processus habituellement utilisés pour la production de produits alimentaires nanostructurés sont les nanoémulsions, les micelles



surfactantes, les émulsions doubles ou multicouches et les micelles inverses (Weiss *et al.*, 2006). Les pâtes à tartiner, les mayonnaises, les crèmes, yoghurts, glaces, etc. sont autant d'exemples de denrées nanotexturées. La nanotexturation de denrées alimentaires procurerait de nouveaux goûts ainsi que de meilleures textures, consistances et stabilité aux émulsions par rapport aux produits transformés de façon traditionnelle. Un avantage classique de cette technologie pourrait être l'obtention d'une denrée alimentaire nanotexturée à faible teneur en graisse qui serait aussi «crèmeuse» que son équivalent extra-gras, offrant ainsi une option «diététique» au consommateur. Actuellement, il n'existe pas d'exemples précis de produit nanostructuré déclaré disponible sur le marché. Toutefois, il semblerait que certains produits soient en recherche-développement, alors que d'autres seraient sur le point d'être commercialisés. Tel est notamment le cas d'une mayonnaise qui est une émulsion contenant des nanogouttelettes d'eau à l'intérieur de gouttelettes d'huile. Elle offrirait des caractéristiques de goût et de texture comparables à une mayonnaise extra-grasse, mais permettrait une consommation de graisse bien inférieure pour le consommateur³.

Un autre domaine d'application est l'utilisation d'additifs alimentaires à l'échelle nanométrique ou nanoencapsulés. Ce genre d'applications devrait exploiter un segment bien plus conséquent du secteur de l'alimentation diététique et porte sur les couleurs, les agents de conservation, les arômes et les compléments. Les principaux avantages invoqués seraient une meilleure dispersion des additifs insolubles dans l'eau au sein des denrées sans qu'il soit nécessaire d'ajouter des graisses ou des agents tensioactifs, de même que de meilleurs goûts et parfums grâce à la surface de contact plus grande des additifs nanométriques par rapport aux formes traditionnelles. Plusieurs produits de consommation contenant des additifs à l'échelle nanométrique sont déjà disponibles dans certains secteurs alimentaires, comme l'alimentation, les aliments diététiques, les compléments et les nutraceutiques; il s'agit notamment de minéraux, d'agents antimicrobiens, de vitamines, d'antioxydants, etc. Pratiquement tous ces produits seraient mieux absorbés dans l'organisme et auraient une meilleure biodisponibilité que leurs homologues traditionnels.

Un autre exemple est la tendance à la hausse du nanobroyage d'herbes fonctionnelles et d'autres plantes, comme dans la fabrication du thé vert et du ginseng.

Systèmes de nanodistribution par encapsulation

La nanoencapsulation sous forme de systèmes de distribution basés sur des micelles, des liposomes ou de biopolymères a été utilisée pour mettre au point des systèmes de distribution d'additifs et de compléments dans les aliments et les boissons. La nanoencapsulation est le prolongement technologique de la microencapsulation dont se sert l'industrie depuis de nombreuses années pour les ingrédients et additifs alimentaires. Les avantages de la nanoencapsulation sont comparables à ceux de la microencapsulation, mais sont toutefois supérieurs en termes de préservation des ingrédients et des additifs

³ www.leatherheadfood.com

lors de la transformation et de l'entreposage, de dissimulation des goûts et parfums désagréables et de contrôle de la libération des additifs; ce processus permet en outre une meilleure dispersion des ingrédients alimentaires et des additifs insolubles dans l'eau et plus grande acceptation des nutriments et des compléments encapsulés. La modification des caractéristiques optiques des nanotransporteurs implique qu'ils peuvent être utilisés dans une gamme plus vaste de produits comme des boissons transparentes. L'amélioration de l'acceptation et de la biodisponibilité permet, à elle seule, de multiples applications dans les produits alimentaires qui intègrent des vitamines, des nutraceutiques, des agents antimicrobiens, des antioxydants, etc. à l'échelle nanométrique. Après l'emballage alimentaire, la nanoencapsulation est actuellement le domaine le plus important pour l'application de la nanotechnologie dans les secteurs alimentaires et de plus en plus de produits qui s'appuient sur la technologie des nanotransporteurs sont déjà disponibles sur le marché.

12

Réunion d'experts FAO/OMS sur l'application des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture: incidences possibles sur la sécurité alimentaire

Différents compléments et nutraceutiques à base de nanomicelles sont disponibles dans certains pays, par exemple, un système de transport à base de nanomicelles pour introduire des nutriments et des compléments dans des produits alimentaires et des boissons. Des compléments nanostructurés qui se basent sur des structures liquides autoassemblées en sont un autre exemple. Agissant comme des transporteurs de composés ciblés (par exemple, des nutraceutiques et des médicaments), ces véhicules à l'échelle nanométrique comportent des micelles étendues dont la taille est approximativement de 30 nm. Un exemple disponible est une huile végétale enrichie en vitamines, minéraux et produits phytochimiques. Une autre technologie s'appuie sur un système de distribution d'agrégats nanométriques pour des aliments. Plusieurs produits sont disponibles sur base de ce système. Par exemple, un produit amincissant à base de nanoagrégats de cacao enrobés à la surface d'un nanomatériel manufacturé afin d'accroître l'arôme de chocolat grâce à l'augmentation de la surface qui entre en contact avec les papilles gustatives. Récemment, des nanotubes autoassemblés ont été mis au point à partir de la protéine laitière hydrolysée α -lactalbumine et montrent une bonne stabilité (Graveland-Bikker et de Kruif, 2006). La α -Lactalbumine est déjà utilisée en tant qu'ingrédient alimentaire, principalement dans des recettes destinées aux enfants. Ces nanotubes dérivés d'une protéine alimentaire pourraient constituer un nouveau transporteur pour la nanoencapsulation de nutriments, de compléments et de produits pharmaceutiques.

Le principe des systèmes de nanodistribution semble issu de la recherche sur la fourniture ciblée de médicaments et de produits thérapeutiques. Même s'ils présentent de nombreux avantages pour le consommateur, comme une meilleure absorption, acceptation et biodisponibilité des nutriments et des compléments, ils pourraient également altérer la distribution des substances dans l'organisme. Par exemple, la technologie des nanotransporteurs a rendu certains composés solubles dans l'eau (comme la vitamine C) susceptibles de dispersion dans la graisse, et vice versa: des composés susceptibles de dispersion dans la graisse (par exemple, la vitamine A) sont devenus hydrodispersibles. En cas de rupture du nanotransporteur et de rejet de son contenu dans le tube digestif, les composés encapsulés ne se différencieront pas de leurs homologues



traditionnels. Néanmoins, si un nanotransporteur parvient à acheminer la substance jusqu'au sang, ses caractéristiques d'ADME (absorption, distribution, métabolisme et excrétion) pourraient être différentes. Il pourrait être nécessaire de conduire une nouvelle évaluation des risques en cas de changement significatif de la biodisponibilité et/ou de la distribution tissulaire de certaines substances par rapport aux équivalents traditionnels en vrac. Ces applications induiraient également des investigations au niveau des rôles possibles des nanotransporteurs en tant que «cheval de Troie», en termes de facilitation du transfert de substances encapsulées ou d'autres matériaux étrangers vers des parties non choisies de l'organisme.

Nanomatériaux intéressants pour les applications alimentaires

Les informations disponibles pour l'heure suggèrent que les nanomatériaux utilisés dans les applications alimentaires incluent à la fois des substances inorganiques et organiques. Outre les nanomatériaux manufacturés, il est possible que certains matériaux à l'échelle nanométrique utilisés dans les applications pour les denrées alimentaires et les aliments pour animaux contiennent une fraction nanométrique du fait de la variation naturelle de la fourchette de tailles (EFSA, 2009). Sur base des informations disponibles, les nanomatériaux manufacturés susceptibles d'être trouvés dans les produits nanoalimentaires peuvent être regroupés en trois catégories: les nanomatériaux manufacturés inorganiques, les nanomatériaux manufacturés à la surface fonctionnalisée et les nanomatériaux manufacturés organiques (Chaudhry *et al.*, 2008). En voici des exemples:

Nanomatériaux inorganiques

Plusieurs nanomatériaux manufacturés inorganiques sont utilisés dans des produits alimentaires et des aliments diététiques, ainsi que dans le conditionnement alimentaire. Il s'agit de nanomatériaux manufacturés en métaux de transition comme l'argent et le fer, en métaux alcalino-terreux comme le calcium et le magnésium et en métalloïdes comme le sélénium et le silicate. D'autres nanomatériaux manufacturés qui peuvent potentiellement être utilisés dans les applications alimentaires incluent le dioxyde de titane.

Les emballages alimentaires constituent le principal domaine d'application des nanomatériaux manufacturés en métal (oxyde). Parmi les exemples d'applications, citons des polymères plastiques comportant de la nanoargile pour ses propriétés de barrage des gaz, du nanoargent et du nanooxyde de zinc pour leur action antimicrobienne, du nanodioxyde de titane pour sa protection contre les rayons ultraviolets, du nanotrirure de titanium pour sa force mécanique et en tant qu'auxiliaire technologique, du nanosilicium pour le revêtement de la surface, etc.

Nanoargent: Le nanoargent s'utilise de plus en plus dans différents produits de consommation dont les aliments et les aliments diététiques, l'eau, les surfaces en contact avec des aliments et les matériaux d'emballage. En effet, l'utilisation du nanoargent en

tant qu'agent antimicrobien et de lutte contre les odeurs, et comme complément (dit) diététique dépasse déjà celle de tous les autres nanomatériaux manufacturés actuellement utilisés dans différents secteurs (Woodrow Wilson International Centre for Scholars, 2009). Ses usages les plus courants ont trait à l'alimentation diététique et au conditionnement alimentaire, mais l'utilisation de nanoargent en tant qu'additif dans la préparation de farine de blé antibactérienne a récemment fait l'objet d'un dépôt de brevet (Park, 2006).

Nanosilicium: Le nanosilicium amorphe est utilisé dans les surfaces en contact avec des aliments et dans les emballages alimentaires. Cela fait de nombreuses années qu'il est utilisé dans des applications alimentaires, comme pour le filtrage des bières et des vins et en tant que fluidifiant dans les soupes en poudre. La silice en vrac traditionnelle est autorisée comme additif alimentaire (SiO_2 INS 551), mais les tests du matériel pourraient avoir négligé le nanosilice. La silice poreuse sert dans la nanofiltration pour retirer les éléments indésirables des aliments et des boissons, comme le goût amer de certains extraits de plante.

14

Réunion d'experts FAO/OMS sur l'application des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture: incidences possibles sur la sécurité alimentaire

Nanodioxyde de titane: La forme conventionnelle en vrac du dioxyde de titane a déjà été autorisée comme additif alimentaire (TiO_2 INS 171), mais elle pourrait aussi contenir une part nanométrique. Le nanodioxyde de titane sert dans divers produits (par exemple, peintures, revêtements) et son usage pourrait être étendu aux denrées alimentaires. Par exemple, un brevet américain (US5741505) décrit l'application possible de revêtements nanométriques inorganiques directement sur des surfaces alimentaires pour servir de barrière à l'humidité et à l'oxygène, et ainsi accroître la durée de conservation et/ou la saveur des aliments. Les matériaux utilisés pour les nanorevêtements, destinés à être appliqués lors d'un processus continu en tant que fin film amorphe de maximum 50 nm, contiennent du dioxyde de titane (ainsi que du dioxyde de silicium et de l'oxyde de magnésium). Les principales applications visées dans le brevet sont les produits de confiserie. Toutefois, à notre connaissance, cette technologie n'a été utilisée dans aucune application commerciale. Le nanodioxyde de titane sert également de photocatalyseur dans le traitement de l'eau – surtout pour oxyder les métaux lourds et les polluants organiques, et pour tuer les pathogènes microbiens.

Le **nanosélénium** est commercialisé comme additif d'un thé vert qui présenterait divers avantages pour la santé du fait d'une meilleure acceptation du sélénium.

Les **sels de nanocalcium** font l'objet de dépôts de brevet (Sustech GMBH & Co, 2003, 2004) pour leur utilisation dans les chewing-gums. Les sels de nanocalcium et de nanomagnésium sont également disponibles sous forme de compléments diététiques.

Le **nanofer** est disponible comme complément diététique. Le nanofer sert également dans le traitement des eaux contaminées pour son effet de décontamination de l'eau par décomposition des polluants organiques et élimination des pathogènes microbiens.



Le **nanosel** est un exemple de nanomatériel soluble en développement. Il permettra aux consommateurs de réduire leurs prises de sel, car une petite quantité couvrira une zone plus importante de la surface alimentaire.

Nanomatériaux à la surface fonctionnalisée

Les nanomatériaux à la surface fonctionnalisée sont la deuxième génération de nanomatériaux manufacturés qui ajoutent certaines fonctionnalités à la matrice, comme une action antimicrobienne ou de préservation grâce à l'absorption d'oxygène. Pour les matériaux de conditionnement des aliments, les nanomatériaux manufacturés fonctionnalisés sont utilisés pour se lier à la matrice polymérique afin d'offrir une force mécanique ou une barrière aux gaz, aux composants volatils (comme les arômes) ou à l'humidité. Par rapport aux nanomatériaux inertes, ils devraient réagir davantage avec différents composants alimentaires ou se lier avec des matrices alimentaires et donc ne devraient ni migrer des matériaux d'emballage, ni se déplacer vers d'autres organes à l'extérieur du tube digestif. Citons, par exemple, l'utilisation de nanoargile fonctionnalisé dans les emballages alimentaires pour mettre au point des matériaux aux propriétés accrues contre les gaz. Le minéral nanoargile est principalement composé de montmorillonite (également appelé bentonite) qui est une argile naturelle obtenue à partir de cendres/pierres volcaniques. La nanoargile dispose d'une structure en couches nanométriques et est modifiée organiquement pour se lier aux matrices polymériques.

Nanomatériaux organiques

Nombre de matériaux organiques à l'échelle nanométrique (dont plusieurs sont des substances présentes de façon naturelle) sont utilisés dans (ou ont été conçus pour) des produits alimentaires, y compris pour les animaux, dont des substances encapsulées dans des systèmes de nanodistribution. On y retrouve notamment des vitamines, des antioxydants, des colorants, des arômes et des agents de préservation. Le principe clé qui sous-tend la mise au point de substances organiques à l'échelle nanométrique est leurs meilleures acceptation, absorption et biodisponibilité dans l'organisme par rapport à leurs équivalents traditionnels en vrac. Cette catégorie contient une vaste gamme de matériaux disponibles, comme des additifs alimentaires (par exemple, l'acide benzoïque, l'acide citrique, l'acide ascorbique) et des compléments (par exemple, les vitamines A et E, les isoflavones, le bêta-carotène, la lutéine, les acides gras omégas-3, le coenzyme-Q10). Le caroténoïde lycopène de la tomate est un exemple de nanomatériel organique. Une forme synthétique de lycopène à l'échelle nanométrique, un carotène présent dans les tomates, a été conçue. Une forme dispersable dans l'eau d'un produit hydrodispersible, dont la taille des particules se situe dans une fourchette de 100 nm pour être utilisée sous forme synthétique de lycopène dans des aliments et des boissons, serait disponible sur le marché. Le lycopène a été obtenu le statut GRAS (généralement reconnu inoffensif) auprès de la Food and Drug Administration (FDA) des États-Unis (GRAS Notice GRN000119/2002) et un récent avis de l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) estimait sûre son utilisation dans les aliments et les boissons (EFSA, 2008).

Néanmoins, les évaluations de l'EFSA et du Comité mixte FAO-OMS d'experts des additifs alimentaires (JECFA) ne tenaient pas compte de la forme nanométrique du produit⁴. Il n'est donc pas évident de déterminer si ce matériel est actuellement utilisé dans des aliments ou des boissons. Plusieurs autres colorants, agents de préservation et parfums alimentaires à l'échelle nanométrique sont actuellement en cours de développement et certains pourraient être disponibles dans les années à venir.

Il est intéressant de mentionner qu'outre les nanomatériaux repris dans cette partie, il existe plusieurs autres nanomatériaux actuellement utilisés dans des applications non alimentaires, mais qui n'ont pas encore été examinés ici parce qu'ils ne sont pas susceptibles d'être utilisés dans des applications en rapport avec la portée du présent document. Par exemple, certains nanomatériaux à base de carbone (fullerènes, nanotubes de carbone) sont utilisés dans diverses applications non alimentaires, mais ne devraient pas servir dans l'alimentation parce que leurs fonctionnalités ont principalement trait à l'amélioration de la force mécanique et de la conductivité électrique, ce qui a peu d'intérêt en cas d'utilisation dans les aliments. Toutefois, des nanotubes en carbone pourraient être utilisés dans les emballages ou dans le traitement des eaux. En plus des nanomatériaux ajoutés de façon délibérée, les denrées alimentaires pourraient contenir d'autres nanomatériaux, par exemple, par contamination du milieu ambiant, par migration depuis l'emballage, par contact avec des surfaces actives ou par l'utilisation de produits agrochimiques, de pesticides ou de médicaments vétérinaires à l'échelle nanométrique).

16

Réunion d'experts FAO/OMS sur l'application des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture: incidences possibles sur la sécurité alimentaire

Matériaux en contact avec la nourriture et les emballages fondés sur la nanotechnologie

Les applications de la nanotechnologie pour les matériaux en contact avec les aliments et les emballages alimentaires représentent la plus grande part du marché actuel et prévu à court terme des applications dans le secteur de l'alimentation (Chaudhry *et al.*, 2008; Cientifica, 2006). Alors que la majeure partie des applications de nanotechnologie dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture sont actuellement au stade de recherche-développement ou proches d'être commercialisées, celles liées au conditionnement des aliments s'imposent rapidement comme une réalité commerciale. Les facteurs qui participent à leur développement incluent des avantages considérables en termes de légèreté, mais aussi de solidité des matériaux d'emballage, d'allongement de la durée de conservation des denrées alimentaires emballées et du risque potentiellement faible pour le consommateur en raison de la nature fixe ou intégrée des nanomatériaux manufacturés dans des polymères plastiques. Nombre de matériaux en contact avec des aliments dérivés de la nanotechnologie sont disponibles pour l'heure dans le monde entier et peuvent être classés selon leur application dans les catégories larges qui suivent:

⁴ Il convient également de noter que, lors de cette réunion, le JECFA a abordé des questions que des formes à l'échelle nanométrique d'additifs alimentaires pourraient soulever et a conclu que «ni les spécifications, ni les doses journalières admissibles des suppléments alimentaires qui ont été évaluées sous d'autres formes ne sont destinées à s'appliquer aux matériaux à nanoparticules». (OMS,2007).



- matériaux en contact avec des aliments intégrant des nanomatériaux pour de meilleures propriétés d'emballage (flexibilité, barrière aux gaz, stabilité face aux températures ou à l'humidité);
- matériaux «actifs» en contact avec de la nourriture, intégrant des nanoparticules aux propriétés antimicrobiennes ou désoxygénantes;
- emballages alimentaires «intelligents» qui intègrent des nanosenseurs pour surveiller et rapporter l'état de la nourriture; et
- nanomatériaux composites biodégradables à base de polymères aux propriétés mécaniques et fonctionnelles améliorées.

Voici des exemples de matériaux en contact avec des aliments dérivés des nanotechnologies qui sont soit disponibles soit en recherche-développement:

Matériaux aux nanoparticules renforcées

Également appelés «nanocomposites», il s'agit de polymères renforcés avec de petites quantités (jusqu'à 5 pour cent en poids) de particules à l'échelle nanométrique qui ont des rapports d'aspects élevés et sont capables d'améliorer les propriétés et les performances du polymère.

Composites polymériques avec de la nanoargile: Il s'agit des premiers nanocomposites à apparaître sur le marché en tant que matériaux améliorés pour les emballages, y compris les emballages alimentaires. La nanoargile dispose d'une structure naturelle en nanocouche qui, incorporée à un composite polymérique, diminue la perméabilité aux gaz. Les composites polymériques de la nanoargile sont issus d'un polymère thermodurci ou thermoplastique renforcé par des nanoparticules d'argile. Ces derniers incluent les polyamides, les nylons, les polyoléfines, le polystyrène, l'éthylène-acétate de vinyle, le copolymère, les résines époxydes, le polyuréthane, les polyimides et le polyéthylène téréphthalate. Plusieurs composites polymériques avec de la nanoargile sont disponibles sur le marché. Les applications connues de la nanoargile dans des films d'emballage multicouches sont les bouteilles pour la bière, les boissons gazeuses et les conteneurs thermoformés⁵. Certaines grandes brasseries utiliseraient déjà la technologie pour leurs bouteilles de bière⁶.

Composites polymériques avec des nanométaux ou des nanooxydes métalliques: Les nanocomposites polymériques intégrant des nanoparticules de métal ou d'oxyde de métal sont principalement utilisés pour leur action contre les microbes, leur résistance au frottement, leur absorption des UV et leur force. Certains nanomatériaux ont servi à développer des emballages actifs qui peuvent absorber l'oxygène et donc garder les aliments frais. D'autres nanomatériaux ont été intégrés pour absorber les UV afin de prévenir la dégradation que causent ces rayons aux plastiques comme les polystyrènes, les polyéthylènes et les chlorures de polyvinyle (PVC). D'un point de vue commercial, les

17

⁵ Plastic Technology: www.plastictechnology.com/articles/200508fa1.html

⁶ Big Idea Investor: www.bigideainvestor.com/index.cfm?D=603

nanomatériaux importants dans ce domaine sont le nanoargent et nanooxyde de zinc pour leur action antimicrobienne, le nanodioxyde de titane pour une protection contre les rayons ultraviolets, le nanotirure de titaniun pour sa force mécanique et en tant qu'auxiliaire technologique, et le nanosilicium pour le revêtement de la surface.

Il est important de noter que les biocides de surface des matériaux d'emballage, comme le nanoargent, ne sont pas censés disposer d'un effet de préservation des aliments. Le rôle de l'agent biocide est davantage d'aider à maintenir les conditions d'hygiène de la surface en prévenant ou diminuant la prolifération microbienne. Dans les cas où un nanomatériel apporte un effet de préservation à un produit emballé, il conviendrait, dans la plupart des pays, d'obtenir une autorisation réglementaire supplémentaire en tant qu'additif alimentaire direct. Sur base de l'action antimicrobienne du nanoargent, plusieurs matériaux «actifs» en contact avec des aliments conçus préserveraient les matériaux alimentaires en freinant la prolifération de micro-organismes. C'est notamment le cas de conteneurs d'entreposage des aliments et de sacs de stockage en plastique. Le nanoargent a également été intégré à la surface interne de certains réfrigérateurs domestiques pour empêcher la prolifération microbienne et maintenir un environnement propre et hygiénique dans le frigo. La découverte des propriétés antimicrobiennes du nanoxyde de zinc et du nanoxyde de magnésium à l'Université de Leeds pourrait déboucher sur des matériaux plus abordables pour ce genre d'applications dans des emballages alimentaires (Zhang *et al.*, 2007). Une enveloppe plastique contenant du nanoxyde de zinc, qui stériliserait sous éclairage intérieur, est également disponible.

Revêtements contenant des nanoparticules: Des revêtements qui contiennent des nanoparticules servent à créer des surfaces antimicrobiennes, résistantes aux rayures et à la corrosion, et antireflets. L'opération suppose l'enrobage d'une forme à nanoparticules d'un métal, d'un oxyde métallique ou d'un film de résine de nanoparticules. Parmi les exemples de matériaux en contact avec des aliments disposant d'un nanorevêtement, citons les articles ménagers antibactériens, les planches à couper et les théières.

Des nanorevêtements fortement imperméables ont également été conçus et contiennent de nombreuses plaquettes nanodispersées par micron d'épaisseur de revêtement afin d'augmenter les propriétés de barrage des polyéthylènes téréphthalates (PET). Cela accroît la barrière contre l'oxygène dès lors qu'ils sont utilisés dans des aliments et des boissons, garantissant une plus grande durée de conservation. Les revêtements seraient très efficaces pour empêcher l'oxygène d'entrer et pour préserver le dioxyde de carbone. Ils peuvent ainsi rivaliser avec les technologies traditionnelles d'emballages actifs comme les pièges à oxygène (Garland, 2004). Le nanorevêtement qui est un enrobage nanocomposite barrière avec une base aqueuse qui stoppe l'oxygène grâce à un revêtement de 1-2 microns, à utiliser dans le conditionnement alimentaire, et le plasma arc cathodique de carbone amorphe à l'intérieur des bouteilles en PET en tant que barrière au gaz en sont des exemples.

Nanoémulsions antimicrobiennes: Des nanoémulsions ont été conçues pour la décontamination des équipements de conditionnement alimentaire et pour les emballages



alimentaires. Un exemple classique est un produit à base de nanomicelles qui contiendrait de la glycérine naturelle et qui enlève les résidus de pesticides des fruits et des légumes, ainsi que l'huile et les saletés des couverts.

Principes des emballages intelligents basés sur des nanosenseurs

La nanotechnologie a également permis le développement de nanosenseurs qui peuvent être intégrés aux étiquettes ou aux revêtements pour ajouter une fonction intelligente aux emballages alimentaires, assurant l'intégrité de l'emballage grâce à la détection d'écoulements (pour les emballages alimentaires emballés sous vide ou atmosphère inerte) et à l'indication des variations de temps et de températures (par exemple, congélation-décongélation-recongélation) ou de la sécurité microbienne (détérioration des denrées alimentaires).

C'est notamment le cas d'un indicateur qui, de transparent, devient bleu pour informer le consommateur que de l'air est entré dans l'atmosphère modifiée des matériaux emballés. Pour ce type d'application, des encres imprimables issues des nanotechnologies ont été créées. Par exemple, une encre détectant l'oxygène et contenant des nanoparticules sensibles à la lumière (TiO_2) qui ne détectent l'oxygène que lorsqu'elles sont «allumées» par de la lumière ultraviolette. D'autres encres conductrices pour l'impression à jet d'encre, basées sur des nanoparticules de cuivre ont également été conçues (Park *et al.*, 2007). La sécurité sanitaire des aliments exige également la confirmation de l'authenticité des produits. C'est ici que l'application de nanocodes-barres intégrés à l'encre d'impression ou aux revêtements pourrait être utilisée pour tracer l'authenticité des produits emballés (Han *et al.*, 2001).

Des indicateurs de la qualité des aliments ont également été conçus, fournissant au consommateur une indication visuelle du moment où les denrées alimentaires emballées commencent à se dégrader. Un exemple de ce genre d'indicateurs est une étiquette qui se base sur la détection de sulfure d'hydrogène, destinée à être utilisée sur les produits frais à base de volaille. L'indicateur se sert d'une réaction entre le sulfure d'hydrogène et une nanocouche d'argent (Smolander *et al.*, 2004). La couche de nanoargent est d'un brun léger opaque, mais lorsque la viande commence à se dégrader, du sulfure d'hydrogène se forme et la couche devient transparente, indiquant que les aliments pourraient être imprévisibles à la consommation.

D'autres matériaux ont été développés pour une éventuelle utilisation dans des emballages alimentaires et se basent sur du silicium nanostructuré avec des nanopores. Les utilisations possibles sont la détection de pathogènes dans les aliments et les fluctuations de température lors de leur entreposage. Un autre concept intéressant vise à fournir une base pour des emballages de préservation intelligents qui ne dégageraient des agents de conservation que lorsque les aliments emballés commencent à se détériorer (ETC Group, 2004).

Utilisation des nanotechnologies dans le secteur agricole

Les avantages apparents du remplacement des principes ou des porteurs actifs par des équivalents à l'échelle nanométrique ont également ouvert la porte à des recherches sur

des applications possibles de la nanotechnologie dans les pesticides, les médicaments vétérinaires et d'autres substances agrochimiques comme des engrains et des régulateurs de croissances des plantes. Les avantages anticipés de la recherche-développement dans ces domaines incluent la réduction possible de l'utilisation de certains produits agrochimiques (comme les pesticides) et une meilleure capacité de contrôle de l'application et du dosage des principes actifs sur le terrain. En dépit d'un fort intérêt commercial dans ce domaine, il n'existe que peu d'exemples de produits disponibles. La plupart semblent actuellement à l'étape de recherche-développement, et il est probable que certaines applications des nanotechnologies à grande échelle aient prochainement trait à l'agriculture. Si tel devait être le cas, cela augmentera l'exposition potentielle aux substances agrochimiques utilisées dans le secteur agricole (Mac Kenzie, 2007).

Aliments pour animaux

20

Théoriquement, tous les minéraux, vitamines ou autres additifs/compléments à l'échelle nanométrique mis au point pour une application alimentaire peuvent également être utilisés pour les aliments pour animaux, même si le coût élevé de l'utilisation d'additifs de qualité alimentaire pour des aliments pour animaux peut poser problème évident. Il existe quelques exemples de produits disponibles où des additifs à l'échelle nanométrique ont été spécifiquement mis au point (ou sont en cours de développement) pour des aliments pour animaux. Il existe, par exemple, un additif pour la nutrition animale comprenant un biopolymère naturel à partir d'écorces de levure qui peuvent adhérer aux mycotoxines afin de protéger les animaux contre la mycotoxicose. Des mélanges liquides de vitamines à l'échelle nanométrique (destinés aux animaux) sont également disponibles pour la volaille et le bétail. D'autres applications à l'étape de recherche-développement comprennent un nanoadditif liant les aflatoxines pour les aliments pour animaux, dérivé de montmorillonite modifiée (nanoargile) (YingHua *et al.*, 2005). Des chercheurs ont créé une nanoparticule qui adhère à l'*E. coli* et qui consiste en une base en polystyrène, en un lieu en polyéthylène glycol et un mannose visant la biomolécule. Ces nanoparticules sont conçues pour être administrées grâce aux aliments en vue d'éliminer les pathogènes d'origine alimentaire dans l'appareil digestif des animaux; leurs risques potentiels, leurs avantages et les questions de société qu'elles impliquent ont été examinés (Kuzma *et al.*, 2008).

Produits agrochimiques

Des recherches sont également menées au niveau du développement de différentes substances agrochimiques à l'échelle nanométrique, comme des engrains, des pesticides et des médicaments vétérinaires. Il a été suggéré que le recours à des principes actifs à l'échelle nanométrique permettrait une meilleure distribution des substances agrochimiques sur le terrain, augmenterait l'efficacité des pesticides et le contrôle du dosage des produits vétérinaires. Par exemple, des recherches ont été menées sur des nanoparticules de lipides solides nanoencapsulés dans le cadre de l'administration de produits agrochimiques (Frederiksen *et al.*, 2003), comme des engrains et des pesticides lents ou à libération contrôlée. Une formulation d'engrais et de pesticide combinés encapsulés dans de la



nanoargile pour la libération lente de stimulants de croissance et de biopesticides, testés dans le cadre du Programme 2006 de coopération scientifique et technologique entre le Pakistan et les États-Unis (Amis de la Terre, 2008), en est un exemple.

Wang *et al.* (2007b) ont décrit le développement de nanoémulsions (eau/polyoxyéthylène) de surface non ionique (décanoate de méthyle) contenant le pesticide béta-cyperméthrine. Il a été montré que des nanoparticules creuses poreuses de silice, mises au point pour la distribution contrôlée de pesticides validamycines solubles dans l'eau avec une forte capacité de chargement (36 % poids) suivaient un modèle de diffusion à plusieurs étapes (Liu *et al.*, 2006). De la même façon, Bin Hussein *et al.* (2005) ont décrit la mise au point d'un matériel organique-inorganique nanohybride pour la libération contrôlée de l'herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetate. L'étude a utilisé un hydroxyde double couche de zinc-aluminium pour héberger le principe actif de l'herbicide par autoassemblage. Quelques engrains qui contiendraient des microéléments nutritifs à l'échelle nanométrique (principalement des oxydes et des carbonates de zinc, du calcium, du magnésium, molybdène, etc.) sont disponibles. Il est possible de se procurer de la poussière de pierres (volcaniques) à partir de différentes sources de reminéralisation des sols. Un produit commercial, comprenant des sulfates de fer, du cobalt, de l'aluminium, du magnésium, du manganèse, du cuivre et de l'argent, est disponible pour traiter les graines et les bulbes avant de les semer ou de les planter. Le produit serait dérivé de la nanotechnologie, mais il n'y a aucune indication quant à la fourchette de taille. La Chine et l'Inde mènent des recherches sur des engrains lents ou à libération contrôlée.

L'utilisation de nanoformes de substances agrochimiques offre quantité d'avantages en termes de diminution de l'utilisation de produits chimiques, mais pourrait également soulever des inquiétudes quant à l'exposition des ouvriers agricoles et à la contamination des produits agroalimentaires. Outre le recours intentionnel des nanotechnologies dans les secteurs agroalimentaires, des nanomatériaux manufacturés peuvent aussi parvenir jusqu'aux aliments et aux boissons par contamination de l'environnement. Une étude de Boxall *et al.* (2007)⁷ a identifié des voies possibles d'exposition par contamination environnementale, de la fabrication à l'élimination en passant par l'utilisation de produits de consommation contenant des nanomatériaux manufacturés. Les principaux produits et matériaux identifiés incluent des produits de beauté et de soins (TiO_2 , ZnO , fullerènes (C_{60}), Fe_2O_3 , Ag, Cu, Au), des catalyseurs, des lubrifiants et additifs pour carburants (CeO_2 , Pt, MoS_3), des peintures et des produits de revêtement (TiO_2 , SiO_2 , Ag, points quantiques), des produits de traitement des eaux et de remise en état de l'environnement (Fe, Fe-Pd, polyuréthane), des produits agrochimiques (transporteurs poreux de SiO_2 et autres substances agrochimiques à l'échelle nanométrique), des emballages alimentaires (Ag, nanoargile, TiO_2 , ZnO , TiN), des nanomédicaments et des transporteurs (argent, Fe, nanomatériaux manufacturés magnétiques).

⁷ Boxall, A.B.A., Chaudhry, Q., Sinclair, C., Jones, A., Aitken, R., Jefferson, B., et Watts, C. (2007). *Current and Predicted Environmental Exposure to Engineered Nanoparticles*. Central Science Laboratory, York. http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=CB01098_6270_FRP.pdf

Perspectives d'avenir

Introduction

Comprendre les activités actuelles de recherche-développement dans le domaine des nanoaliments donne également une idée des possibles développements à venir. Selon des estimations, plus de 200 sociétés dans le monde mènent à l'heure actuelle des recherches et tentent de développer les nanotechnologies dans la conception, la fabrication, l'emballage ou la livraison d'aliments et de compléments nutritionnels (Cientifica, 2006; IFST, 2006). Alors que seule une poignée de produits alimentaires et diététiques contenant des nanoadditifs sont actuellement disponibles sur le marché, on estime qu'il y a plus de 150 applications des nanotechnologies dans l'alimentation à différentes étapes de développement (Cientifica, 2006). Une recherche sur des bases de données de brevets a débouché sur 460 entrées ayant trait à des applications des nanotechnologies dans l'alimentation ou les matériaux en contact avec les aliments (Chaudhry *et al.*, 2007). Les thèmes principaux thèmes de recherche-développement s'y rapportant ont trait à:

- la réduction des quantités de sel, de graisses, d'arômes ou d'autres additifs afin de promouvoir des options alimentaires diététiques;
- l'amélioration de l'apparence des aliments, par exemple en modifiant la couleur, la saveur, la texture, la consistance et en développant de nouveaux goûts et sensations dans la bouche;
- le contrôle de la libération des arômes et des nutriments, et l'amélioration de l'absorption des nutriments et des nutraceutiques dans l'organisme;
- le développement de nouveaux senseurs pour la détection rapide de bactéries ou de virus, ou d'étiquettes «intelligentes» qui sentent quand un produit alimentaire a dépassé la date limite de conservation;
- l'introduction de nouveaux revêtements de surface pour des matériaux d'emballage et de fabrication afin d'améliorer les propriétés.

Les efforts actuels de recherche-développement se concentrent principalement sur des produits de grande valeur, comme les nutraceutiques, les aliments interactifs et fonctionnels, etc., dont des produits qui permettront aux consommateurs de modifier les aliments en fonction du choix, des besoins ou des goûts. Par exemple, un projet porte sur une boisson sans couleur ni goût qui contiendra des ingrédients ou des additifs nanoencapsulés qui peuvent être activés par le consommateur à une fréquence micro-ondes donnée. Il serait ainsi possible d'activer certaines nanocapsules alors que d'autres resteraient intactes, ne libérant que l'arôme, la couleur ou les nutriments préférés (Cientifica, 2006).

Composites polymériques à base de nanotubes de carbone

Des nanotubes de carbone peuvent être formés en tant que nanotubes de carbone à paroi simple ou multiple. Les nanotubes de carbone sont des structures tubulaires allongées, en général de 1 à 2 nm de diamètre pour les nanotubes de carbone à paroi simple. Il est possible de les produire avec de très grands rapports d'aspects et ils peuvent faire plus d'un millimètre de long. Les nanotubes de carbone disposent d'une très forte résistance à



la traction et seraient 100 fois plus forts que de l'acier en ne pesant qu'un sixième de son poids, faisant probablement d'eux la fibre la plus petite et la plus résistante connue. Ils disposent également d'une forte conductivité, d'une grande surface de contact, de propriétés électroniques distinctes et d'une capacité d'adsorption moléculaire potentiellement grande. En raison de la force qu'ils peuvent fournir aux polymères, les nanotubes de carbone à paroi simple sont étudiés pour leur utilisation en tant que produit de renforcement pour les matrices d'intercalation dans les composites polymériques comme les polyamides, les polyesters, les polycarbonates et les mélanges, les polystyrènes, les polysulfures de phénylène, les polyéthérimides et les polyéthers éther cétone pour une série d'emballages. Il existe aussi des nanocomposites de nanotubes de carbone avec des polyoléfines. Toutefois, pour l'heure, il n'existe pas d'exemple connu de matériaux en contact avec des aliments contenant des nanotubes de carbone.

Films à base de nanocomposite polymérique

Les matériaux mis au point dans le cadre des emballages «intelligents» intégreront plusieurs nano(bio)senseurs pour surveiller l'état des aliments. Ces senseurs, intégrés à des polymères ou collés comme des étiquettes, seront capables de détecter des pathogènes alimentaires et de faire changer l'emballage de couleur pour prévenir le consommateur de la contamination ou de la dégradation. La technologie dite de la «langue électronique», formée de réseaux de senseurs qui signalent l'état des aliments, est également en cours d'élaboration. D'autres applications en développement pourraient réparer de petits trous/déchirures dans l'emballage et réagir aux conditions environnementales (Garland, 2004).

Composites polymériques avec des substances nanoencapsulées

Pour le moment, les recherches menées dans ce domaine examinent les applications possibles de substances nanoencapsulées pour des emballages antibactériens et parfumés. Les substances envisagées pour être ajoutées aux nanocapsules incluent des enzymes, des peptides comme des vaccins oraux, des catalyseurs, des huiles, des adhésifs, des polymères, des nanoparticules inorganiques, des particules de latex, des cellules biologiques, des exhausteurs de goût et des agents d'avivage, ou des composés nutritifs comme des vitamines.

Revêtements antalisssures à l'échelle nanométrique

Des chercheurs de l'Université de Borin ont mis au point des revêtements nanostructurés pour des surfaces antalisssures. L'action de nettoyage serait liée à «l'effet lotus» qui fait référence à l'eau qui perle et s'écoule de la feuille grâce à des pyramides de cire à l'échelle nanométrique sur la surface des feuilles de lotus. Les applications prévues sont l'autonettoyage des surfaces, ce qui aiderait à prévenir la prolifération de micro-organismes et à veiller à la sécurité sanitaire des aliments, comme dans les abattoirs et les usines de transformation de la viande (Garland, 2004). D'autres applications possibles pourraient être la mise au point de matériaux d'emballage réutilisables, ce qui permettrait de réduire les déchets d'emballage.

Nanomatériaux pour la prochaine génération d'affichage des emballages

Des étiquettes «intelligentes» s'appuyant sur l'identification par radiofréquence sont en cours de développement pour permettre une distribution rapide et précise d'un vaste éventail de produits, y compris des denrées alimentaires, qui ont une durée de conservation limitée. Des systèmes d'identification par radiofréquence intégrant des transistors polymériques qui utilisent une technologie de film fin organique à l'échelle nanométrique sont en cours de mise au point. Les systèmes d'identification par radiofréquence seront conçus pour fonctionner automatiquement et feront des rapports pour toute anomalie de température, etc. pour des produits dont la durée de vie est réduite (Garland, 2004). Cette technologie permettra également d'augmenter l'authenticité et la traçabilité des aliments ainsi que leur sécurité sanitaire.

Amélioration des performances des polymères bios

24

Les polymères bios peuvent être définis comme des polymères obtenus directement à partir de la biomasse (polysaccharides, protéines, peptides), des polymères synthétisés utilisant des monomères bios (par exemple, de l'acide polylactique) ou des polymères produits par des micro-organismes (par exemple, du polyhydroxybutyrate). La plupart des polymères bios sont également biodégradables. D'une manière générale, l'utilisation de polymères biodégradables dans les matériaux d'emballages alimentaires a, jusqu'à présent, été limitée en raison de performances inférieures par rapport aux plastiques synthétiques, comme une faible résistance mécanique, une forte perméabilité aux gaz et à la vapeur d'eau, une température de distorsion basse et une faible résistance aux opérations prolongées de fabrication (Sorrentino *et al.*, 2007). Néanmoins, ces dernières années, les considérations environnementales ont augmenté l'intérêt pour les polymères biodégradables. C'est un nouveau domaine de recherche-développement, avec de possibles applications de la nanotechnologie en vue d'améliorer les propriétés des polymères biodégradables. Sorrentino *et al.* (2007) ont envisagé les développements potentiels dans les bionanocomposites pour le conditionnement alimentaire. Un exemple classique est celui de l'acide polylactique qui est un polyester thermoplastique biodégradable disposant d'une forte résistance mécanique, mais d'une faible stabilité thermique et d'une perméabilité à la vapeur d'eau et aux gaz élevée par rapport aux polyoléfines et polyesters synthétiques. L'acide polylactique non modifié sert dans des applications où ces limitations n'importent pas, comme dans les pots de yaourt et en tant que couche plastique résistante à l'eau dans les tasses en papier compostables pour des boissons. L'incorporation de 5 pour cent (masse/masse) de montmorillonite dans l'acide polylactique amélioreraient le module d'élasticité et la limite d'élasticité, et diminuerait la perméabilité à l'oxygène (Akbari *et al.*, 2007).

De la même manière, les polymères amylocés forment un piètre écran d'étanchéité à la vapeur et leurs propriétés mécaniques sont inférieures à celles des films plastiques synthétiques. L'intégration de nanoargile dans les polymères amylocés améliorerait la barrière contre l'humidité et les propriétés mécaniques des polymères biodégradables ainsi que la stabilité thermique et l'absorption d'eau réduite du système mixte. Par exemple, Cyrus *et al.* (2008) et Tang *et al.* (2008) ont étudié les effets de l'ajout de nonosilicium



(SiO_2) à des films amylacés/en polyalcool de vinyle. Ils ont découvert qu'outre l'amélioration des propriétés matérielles induite par l'ajout de nanosilicium, il n'avait pas d'effets négatifs importants sur la biodégradabilité des films.

La nanotechnologie a également ouvert la voie à l'introduction de nouvelles fonctionnalités aux matériaux biodégradables, comme une action antimicrobienne. Par exemple, l'agent de conservation acide benzoïque a été lié à de l'hydrotalcite de magnésium et d'aluminium et le complexe a été lié à du polycaprolactone pour ralentir la libération de la molécule antimicrobienne (Sorrentino *et al.*, 2007). D'autres innovations incluent l'utilisation de certaines enzymes à l'action antimicrobienne qui pourraient être immobilisés par liaisons covalentes sur des films de polypropylène bio activé au plasma aminé ou carboxyle grâce aux agents de couplage appropriés (Vartiainen *et al.*, 2005a).

Un autre exemple est celui de la mise au point de matériaux bio(nano)composites basés sur de la nanocellulose provenant de matériaux forestiers et de résidus de la production végétale. Les emballages figurent parmi les applications possibles des bio(nano)composites.

L'introduction des nanomatériaux manufacturés dans des films biodégradables et potentiellement comestibles pourrait accroître l'exposition par ingestion ou environnementale.

Résumé

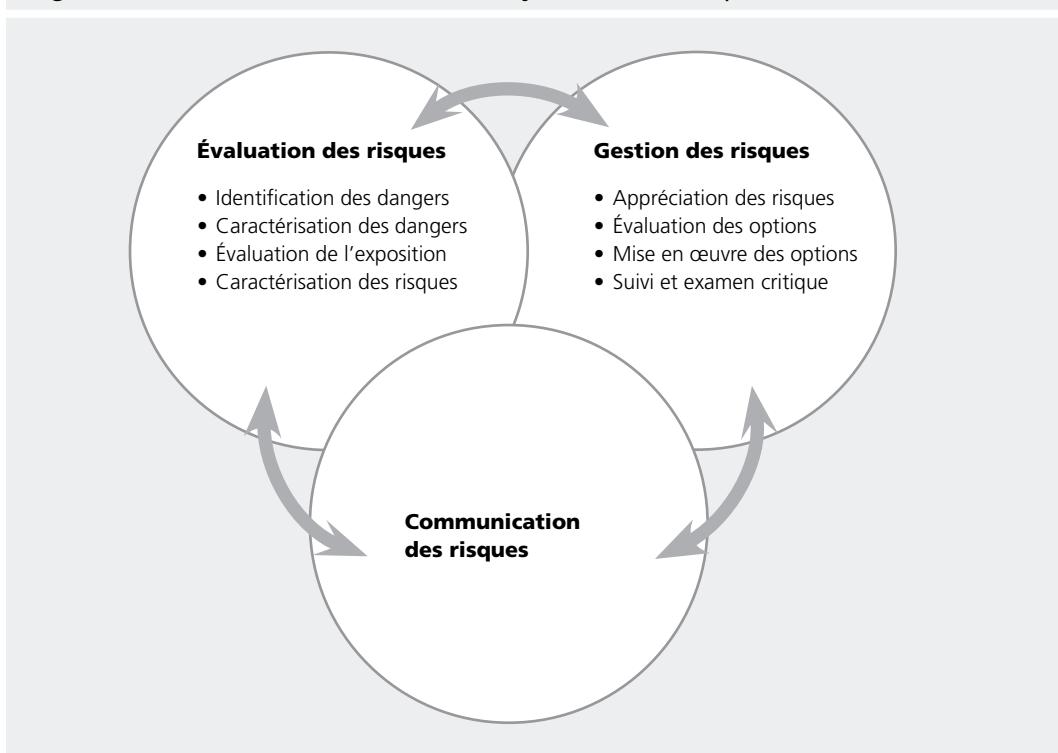
Comme dans d'autres secteurs, l'émergence des nanotechnologies offre de multiples possibilités de développement d'applications et de produits novateurs dans l'agriculture, ainsi que dans la production, la transformation, la conservation et l'emballage des aliments. Le présent chapitre a donné un aperçu de l'état des connaissances au regard de l'énorme potentiel d'innovations que la nanotechnologie peut comporter pour les secteurs agricole et alimentaire, allant de pair avec de nombreux avantages pour l'industrie comme pour les consommateurs. Néanmoins, bon nombre des applications en sont encore actuellement à des étapes élémentaires et, à l'instar de nombreuses nouvelles technologies, sont pour la plupart destinées à des produits de grande valeur, du moins dans le court terme. Dans certains pays, plusieurs produits alimentaires et diététiques, et matériaux d'emballage alimentaire basés sur les nanotechnologies sont disponibles pour les consommateurs. Davantage de matériaux, produits et applications sont à différentes étapes de recherche-développement, et d'autres encore sont sur le point d'être commercialisés. Compte tenu de ces progrès, il est fortement possible que les produits alimentaires dérivés des nanotechnologies soient de plus en plus disponibles pour le consommateur ces prochaines années et ce, partout dans le monde.

L'évaluation des risques pour la santé humaine liés à l'utilisation des nanotechnologies et des nanomatériaux dans secteurs de l'alimentation et de l'agriculture

Introduction

L'évaluation des risques est une approche scientifique visant à estimer un risque et à comprendre les facteurs qui l'influencent. Débutant par l'énoncé d'un problème, le processus comprend quatre étapes: l'identification des dangers, l'évaluation de l'exposition, la caractérisation des dangers et la caractérisation des risques (Codex, 2007b; FAO/OMS, 1995a; 1997; CDS, 2000). L'identification des dangers

Figure 1. Structure de l'analyse des risques (FAO/OMS, 1997)





consiste à identifier des effets connus ou potentiels sur la santé humaine associés à une exposition à un agent biologique, physique ou chimique (FAO/OMS, 1995). La caractérisation des dangers inclut l'évaluation qualitative et/ou quantitative de la nature des effets néfastes associés aux agents. Lorsqu'il est possible d'obtenir suffisamment de données, une dose/réponse doit être évaluée (FAO/OMS, 1995). L'évaluation de l'exposition implique l'évaluation qualitative et/ou quantitative de l'ingestion probable d'agents par le biais des aliments et d'autres sources d'exposition le cas échéant (Codex, 2007). La caractérisation des risques intègre l'identification des dangers, leur caractérisation et l'évaluation de l'exposition dans une estimation des effets néfastes susceptibles de se produire dans une population donnée, y compris les incertitudes correspondantes (FAO/OMS, 1995).

Même si le modèle classique d'évaluation des risques peut en général être appliqué aux nanomatériaux manufacturés, il apparaît également clairement que d'autres préoccupations de sécurité pourraient survenir du fait des nanocaractéristiques de ces matériaux (COT, 2005; 2007; CSRSEN, 2006; 2007a). Il convient de reconnaître que le travail (toxicologique) effectué jusqu'à présent répond en priorité aux dangers professionnels liés à la production et à la manutention des matériaux nanostructurés. On en connaît en revanche nettement moins sur le comportement et le devenir des nanomatériaux manufacturés dans le tube digestif.

Les parties qui vont suivre abordent la validité de chaque étape du modèle d'évaluation des risques pour les nanomatériaux manufacturés.

Identification du problème

Certaines publications professionnelles, ainsi que des rapports dans les médias populaires, suggèrent que le nombre de produits intégrant des nanomatériaux ou issus de la nanoscience – et/ou de processus alimentaires nanotechnologiques augmentent de façon exponentielle. Dans le même temps, face aux inquiétudes publiques, des sociétés commanditaires de ce type de produits ont décidé d'éviter toute référence au terme «nano» dans leurs communications. Quant au développement d'applications, des technologies alimentaires industriels et universitaires – et, dans certains cas, au sein de consortiums entre l'industrie et le monde universitaire – s'y sont intéressés dès 2002. Les grandes entreprises alimentaires ont quant à elles moins affiché leur intérêt pour les nanotechnologies du fait des préoccupations du public.

En ce qui concerne l'évaluation des risques et de la sécurité, une fois encore, les industriels et les universitaires partagent le même intérêt, motivés par la sécurité et la confiance des consommateurs ainsi que le désir d'éviter des pertes au niveau des recettes du fait des risques réels ou perçus au sein d'un créneau commercial aux marges bénéficiaires étriquées et au volume d'activités élevé. Tout cela révèle une série de problèmes, à savoir une augmentation probable de l'exposition du public et de l'environnement, une inquiétude documentée du public née de la reconnaissance des scientifiques du manque de données et de la disponibilité d'un nombre croissant de produits, un manque ressenti de transparence – ou du moins, d'une certaine cohérence –

des communications des sociétés et une insatisfaction générale liée à la gouvernance globale et sociétale des nanotechnologies.

Enfin, les autorités publiques sont sur le point d'établir des politiques sous forme d'avis, de programmes volontaires et, dans certains cas, de législations sans aucune estimation qualifiée et fiable des risques, ni méthodes, instruments et ressources disponibles pour les évaluer. Au vu de la situation, il convient donc de progresser rapidement dans le domaine de l'évaluation des risques des produits.

Des exemples ou des études de cas d'évaluations complètes de la sécurité soulignent les enjeux et les enseignements tirés, ainsi que les incertitudes. En effet, peu d'études de cas se préoccupent des nanotechnologies dans l'alimentation et l'agriculture. Une série d'études de cas sur les matériaux possibles en contact avec des aliments a été menée conjointement par le Woodrow Wilson Institute dans le cadre du projet sur les nouvelles nanotechnologies et la Grocery Manufacturers Association (Taylor, 2008). Ce document soulève des questions auxquelles les évaluations des risques doivent répondre. D'autre part, Kuzma *et al.* (2008) abordent des études de cas pour six applications agricoles des nanotechnologies et les questions des risques qu'elles soulèvent, mais n'incluent pas une évaluation des risques complète. Le Conseil international sur la gouvernance des risques (IRGC) (2008) fournit également un rapide aperçu des enjeux associés en appliquant le cadre de l'évaluation des risques à trois nanoparticules utilisées dans l'alimentation et les produits de beauté. Le cadre d'analyse des risques que suggèrent conjointement l'Environmental Defense Fund et DuPont (Partenariat sur les nanotechnologies Environmental Defense Fund–DuPont, 2007) a été appliqué à un dioxyde de titane à l'échelle nanométrique utilisé dans des conteneurs d'aliments et de boissons en tant qu'agent anti-UV inorganique (DuPont, 2007).

La réunion d'experts a identifié deux études de cas (Annexe 5): La bêta-cyclodextrine, une substance qui répond à la définition d'un nanomatériel manufacturé organique, a été mise au point il y a plus de 20 ans en tant que transporteur de molécules simples, comme des vitamines ou des arômes, et a été évaluée en tant que complément et ingrédient alimentaire par plusieurs instances scientifiques dont le Comité mixte FAO-OMS d'experts des additifs alimentaires (OMS, 1995). Une deuxième étude de cas hypothétique porte sur de l'oxyde de zinc en tant qu'agent antimicrobien dans les emballages alimentaires.

Évaluation des risques: identification des dangers

La spécificité des nanomatériaux manufacturés découle du fait que lorsque la taille des particules diminue, la surface de contact de particules augmente de façon inversement proportionnelle à leur taille jusqu'à ce que les propriétés des molécules de surface dominent, générant de nouvelles propriétés déterminées par les ratios élevés surface/volume. Outre le fait que cela offre une vaste série d'applications inédites, les profiles cinétique et de toxicité sont également modifiés. La très grande surface de contact des nanomatériaux manufacturés peut avoir diverses conséquences qu'il convient de prendre en considération dans l'évaluation des risques puisqu'elle les rend différents de leurs



homologues à l'échelle micro/macroskopique. Par exemple, ils disposent d'une réactivité (de surface) accrue par rapport aux matériaux qui ne sont pas à l'échelle nanométrique puisqu'il est probable qu'il y ait beaucoup plus de molécules à la surface dans des états énergiquement instables. Bon nombre de nanomatériaux manufacturés catalysent des réactions, principalement des réactions d'oxydation. Ils peuvent également agir comme des noyaux dans des procédés de nucléation hétérogènes lors de la cristallisation et la recristallisation dans les sciences des matériaux (et pourraient modifier la conformation secondaire ou tertiaire des protéines.) Les nanomatériaux manufacturés peuvent revêtir de multiples formes et subir des changements dynamiques en réaction à leur environnement. Les nanomatériaux manufacturés libres (aussi appelés les nanomatériaux manufacturés primaires) ont tendance à s'agglomérer, créant ainsi des particules plus grandes (nanomatériaux manufacturés secondaires) qui peuvent conserver certaines propriétés de l'échelle nanométrique comme une grande surface de contact et une forte réactivité. Il est possible d'accroître ou de freiner la tendance à l'agglomération des nanomatériaux manufacturés en modifiant la surface, par exemple en présence d'agents chimiques (comme des revêtements, des agents tensioactifs, des ions). Les principaux paramètres physicochimiques pour la caractérisation des nanomatériaux manufacturés sont la taille (y compris sa distribution), la forme (y compris les rapports d'aspect, le cas échéant), la composition chimique, la surface de contact et la sous-structure morphologique de la substance. D'autres paramètres incluent la charge superficielle et le revêtement de la surface, la réactivité chimique et la présence de contaminants provenant de leur synthèse ou préparation. Du reste, des propriétés, comme la solubilité et/ou sa réaction à la corrosion, importent lorsque les nanomatériaux manufacturés sont appliqués aux aliments. Différents ouvrages complets sur les propriétés et les caractéristiques des nanomatériaux manufacturés ont récemment été publiés (Balbus *et al.*, 2007; ICON 2008; OCDE, 2008a, b; Rose *et al.*, 2007; Simon et Joner, 2008a).

Du fait de leurs propriétés physicochimiques spécifiques, on peut s'attendre à ce que les nanoparticules interagissent avec des protéines, des lipides, des glucides, des acides nucléiques, des ions, des minéraux et de l'eau dans des aliments, des aliments pour animaux et des tissus biologiques. Il est donc important que les effets et les interactions des nanomatériaux manufacturés soient définis dans la matrice alimentaire pertinente (Gatti *et al.*, 2009; Oberdorster *et al.*, 2005b; Powers *et al.*, 2006).

Techniques de caractérisation des propriétés physicochimiques

Pour comprendre à la fois les avantages probables et la toxicité potentielle des nanoparticules dans les systèmes biologiques (Royal Society, 2004), il est essentiel de procéder à une caractérisation complète et précise des nanomatériaux manufacturés (Oberdorster *et al.*, 2005a; Powers *et al.*, 2006). Alors que la définition des substances chimiques est en général assez directe (par exemple, composition, pureté), la caractérisation des nanoparticules dans les matrices biologiques est plus complexe d'un point de vue analytique, mais également au regard du manque de connaissances à propos des caractéristiques à identifier (Powers *et al.*, 2006). Il n'est toutefois pas toujours possible de caractériser complètement les nanoparticules. Oberdorster *et al.* (2005a),

tentant de donner quelques conseils en termes de priorisation des caractéristiques des nanoparticules, ont suggéré trois critères:

- le contexte dans lequel un matériel est évalué;
- l'importance de mesurer un paramètre précis au sein de ce contexte; et
- la faisabilité de mesurer le paramètre dans un contexte précis.

Il existe à l'heure actuelle un large éventail de techniques analytiques pour caractériser les nanoparticules (Oberdorster *et al.*, 2005a; Powers *et al.*, 2006; Thomas et Sayre, 2005; Tiede *et al.*, 2008), mais des méthodes de définition des nanoparticules *in situ* font défaut à l'instar de méthodes de détection des systèmes de nanodistribution (Luykx *et al.*, 2008). Il faudrait donc que les recherches s'orientent en priorité sur des méthodes capables de détecter et de caractériser *in situ* des nanoparticules, idéalement en ayant recours à des méthodes qui sont relativement faciles à mettre en œuvre avec les équipements dont disposent actuellement les laboratoires pour détecter les produits chimiques dans les aliments.

La caractérisation doit vérifier des paramètres comme la taille (en nm), la morphologie (sphère, tige, cube, etc.), la composition chimique, la charge superficielle et le revêtement de la surface, la réactivité chimique et la présence de contaminants issus de la synthèse ou de la préparation. Le caractère soluble et/ou corrodable constitue un paramètre important pour l'utilisation dans l'industrie alimentaire puisqu'il faut qu'ils soient biodégradables dans les corps humains ou animaux. La biopersistance de nanomatériaux manufacturés secs ou mouillés démontre leur manque de digestibilité, un facteur qui peut avoir des effets biologiques négatifs, car ils peuvent former des corps étrangers.

Voici une liste non exhaustive des équipements requis pour caractériser des nanomatériaux manufacturés: un microscope électronique à balayage, un microscope électronique par transmission, un microscope environnemental électronique à balayage, un canon à émission de champ – microscope environnemental électronique à balayage, un système d'énergie dispersive, un système de diffractométrie à rayons X et un système de diffusion dynamique de la lumière. La spectroscopie ultraviolette visible peut être utilisée pour la définition physique et chimique de la taille, de la morphologie, de la composition chimique et de la cristallinité.

Pour des nanomatériaux manufacturés colloïdaux, dans des solutions humides, il convient de vérifier d'autres caractéristiques comme: la concentration molaire du nanomatériel manufacturé (en μM), la masse en $\mu\text{g}/\text{ml}$, le pH de la solution, les propriétés optiques ou magnétiques, la fourchette de tailles, la dispersion des nanomatériaux manufacturés dans le milieu et la fourchette de tailles par diffusion dynamique de la lumière ou potentiel zéta, et les forces de cohésion (qui mènent à l'agglomération des nanomatériaux manufacturés). Un équipement plus sophistiqué s'impose pour vérifier l'interaction des nanomatériaux manufacturés avec la matrice.

Interaction des nanomatériaux avec la biologie

Biocinétique: La biocinétique a trait à l'absorption, à la distribution, au métabolisme (biotransformation) et à l'excrétion/l'élimination (ADME) des substances dans l'organisme. Cette succession d'événements, qui se produisent après l'ingestion, détermine



l'exposition interne des organes à des substances potentiellement toxiques. Des nanoparticules pourraient passer la barrière épithéliale tapissant le tube digestif. Après être passées à travers l'épithélium, soit au travers des cellules, soit par endocytose, des nanoparticules peuvent entrer dans les capillaires et apparaître dans la circulation générale ou dans la circulation portale vers le foie. Elles pourraient également parvenir au système lymphatique qui s'écoule via le canal thoracique dans la circulation sanguine générale. Le transfert de particules à travers les parois de l'appareil digestif est un processus à plusieurs étapes impliquant la diffusion à travers le mucus recouvrant les parois du tube digestif, des contacts avec des entérocytes ou des cellules M, le transport cellulaire ou paracellulaire et des événements post-transfert (des Rieux *et al.*, 2006; Hoet *et al.*, 2004).

Les propriétés qui rendent les nanomatériaux manufacturés uniques sont aussi celles qui importent pour les évaluations des risques (CSRSEN, 2006). Les données expérimentales disponibles pour l'heure montrent que les caractéristiques des nanoparticules pourraient influencer leur ADME (Ballou *et al.*, 2004; des Rieux *et al.*, 2006; Florence, 2005; Jani *et al.*, 1990; Roszek *et al.*, 2005; Singh *et al.*, 2006).

Une propriété clé des nanomatériaux manufacturés est leur interaction avec des protéines (Cedervall *et al.*, 2007a; Lynch et Dawson, 2008). L'adsorption de protéines aux nanomatériaux manufacturés peut améliorer le passage des membranes et la pénétration cellulaire (John *et al.*, 2001; 2003; Panté et Kann, 2002). De plus, l'interaction avec des nanomatériaux manufacturés peut affecter la structure tertiaire d'une protéine, entraînant son dysfonctionnement (Lynch *et al.*, 2006). Il est possible que ce genre d'interactions entre les nanomatériaux manufacturés et les protéines ne soient pas statiques et évoluent avec le temps (Cedervall *et al.*, 2007a; 2007b).

On dispose de peu d'informations sur l'absorption des nanomatériaux manufacturés après leur administration orale. Des nanoparticules d'or (Au-NP) (58, 28, 10 et 4 nm) administrées à des souris ont montré une plus grande pénétration du tube digestif à mesure que leur taille diminuait (Hillyer et Albrecht, 2001). Lors d'une étude administrant des nanomatériaux manufacturés en polystyrène marqué à l'I¹²⁵, dont la taille fluctuait de 50 à 300 nm, à des rats, Jani *et al.* (1990) ont établi que 34 pour cent de l'étiquette sur les 50 nm nanoparticules avaient été transportés. Pourtant, ils en ont conclu que cette la translocation des nanoparticules devait être envisagée avec prudence, car le marquage n'était pas stable, provoquant une importante excréition urinaire qu'il convenait de corrigée.

L'absorption de particules de dioxyde de titane de 500 nm (diamètre nominal) a été démontrée, avec 5 pour cent de la dose administrée absorbée après administration orale par gavage répété pendant 10 jours de rats (Jani *et al.*, 1994). En revanche, pour des particules bien plus petites de TiO₂ (25, 80 et 155 nm), seuls des pourcentages infimes ont été rapportés après 15 jours d'administration de doses simples de dioxyde de titane à des souris (Wang *et al.*, 2007a). Toutefois, dans ce document, la caractérisation des particules était insuffisante et les doses administrées (5 g/kg du poids du corps) étaient élevées.

L'absorption des nanomatériaux manufacturés par l'appareil digestif peut être affectée par différents revêtements de surface comme cela a été montré pour du

polyméthacrylate de méthyle recouvert de détergent (130±30 nm) administré par gavage oral à des rats. Alors que la pénétration était accrue par le revêtement de la surface, l'absorption totale fluctuait de 1 à 3 pour cent (Araujo *et al.*, 1999). La dégradation des polynanoparticules d'acide lactique D,L (95 et 150 nm) dans le tube digestif, administrées par gavage à des cobayes, a été réduite en enduisant les particules d'albumine ou de polyalcool de vinyle (Landry *et al.*, 1998). Le Comité mixte FAO-OMS d'experts des additifs alimentaires a pour sa part examiné la biocinétique de la bêta-cyclodextrine (JECFA, 1995).

Malheureusement, on ne dispose que de peu d'informations à propos de la distribution des nanoparticules à la suite d'une exposition orale (Hagens *et al.*, 2007). Lors d'une étude de 28 jours au cours de laquelle 60 nm de nanoparticules d'argent (Ag-NP) ont été administrés par voie orale à des rats, les niveaux les plus élevés d'argent ont été retrouvés dans l'estomac, suivi des reins et du foie, des poumons, des testicules, du cerveau et du sang (Kim *et al.*, 2008). Pour toutes les doses, les niveaux d'argent dans les reins étaient deux fois plus élevés chez les femelles que chez les mâles. La distribution dépendait de la taille de la particule. Lors de l'administration de particules d'or (Au-NP) (58, 28, 10 et 4 nm) à des souris, la distribution dans les organes augmentait à mesure que diminuait la taille des particules (Hillyer and Albrecht, 2001). Si l'on tient compte de la surface de contact plutôt que de la masse, l'effet de la petite taille est encore plus important. Les plus petites particules ont été retrouvées dans les reins, le foie, la rate, les poumons et le cerveau alors que les plus grandes sont presque entièrement restées dans l'appareil digestif. Une forte absorption de 7 pour cent de nanomatériaux manufacturés en polystyrène marqué (50 nm) a été découverte dans un composite de foie, de rate, de sang et de moelle osseuse (Jani *et al.*, 1990). La stabilité du marquage n'a toutefois pas été corrigée.

La rétention préférentielle de grandes particules dans le tube digestif a également été démontrée avec des particules de 500 nm (diamètre nominal) de dioxyde de titane (TiO_2) présentes dans les plaques de Peyer et les ganglions mésentériques (Jani *et al.*, 1994). Il y a pourtant eu une distribution systémique et des particules de TiO_2 ont été détectées dans les poumons et les tissus péritonéaux, mais pas dans le cœur, ni dans les reins. Une analyse chimique est parvenue à détecter du titane dans le foie, les poumons, la rate, le cœur et les reins, mais elle n'a pu fournir aucune information sur la taille réelle des particules.

Il est important, pour l'identification des dangers, de disposer d'informations sur les possibilités des nanoparticules de traverser les barrières naturelles comme la barrière cellulaire, la barrière hémato-encéphalique et l'excration dans le lait maternel. Néanmoins, dans certains cas, il est techniquement impossible d'identifier la taille des particules après leur passage des barrières biologiques. Il faut donc prendre en considération les incertitudes techniques au moment d'évaluer les absorption et distribution possibles.

On en sait très peu sur la biotransformation des nanoparticules après leur administration orale. Le métabolisme des nanoparticules devrait notamment dépendre de la composition chimique de leur surface. Il est possible de concevoir des nanoparticules



polymériques biodégradables. Le degré de dissolution des nanoparticules aura son importance. Les informations concernant l'excrétion des nanoparticules sont encore moins nombreuses. Comme cela a déjà été mentionné, la puissance des nanoparticules à interagir avec des constituants alimentaires normaux a donné lieu à des spéculations sur la possibilité de certaines nanoparticules d'agir en tant que transporteurs (comme un effet «cheval de Troie») de contaminants ou de substances étrangères présentes dans les aliments (Shipley *et al.*, 2008). Cela pourrait participer à l'exposition à ces composés et comporter des implications potentielles pour la santé des consommateurs. Des nanoparticules ont été détectées dans certains organes du corps humain grâce à un microscope environnemental électronique à balayage (Gatti et Montanari, 2008).

Effets toxicologiques

Certaines substances, qui pourraient être englobées dans la définition large des nanomatériaux manufacturés, ont été caractérisées dans les détails du point de vue toxicologique et ont été utilisées sans danger pendant longtemps. Il s'agit notamment de certaines cyclodextrines, d'autres grandes molécules structurées et des polymères et des silices amorphes sublimées. De la même façon, une série de nanomatériaux utilisés dans l'industrie pharmaceutique en tant que modificateurs des caractéristiques pharmacocinétiques des médicaments, liposomes, nanoémulsions et micelles en particulier, ont également été étudiés minutieusement à la fois chez des animaux de laboratoire et des êtres humains sans preuve d'une toxicité inhabituelle en dépit d'une administration par voie parentérale, et ont été approuvé comme systèmes de distribution pour des produits pharmaceutiques. Il s'agit notamment de: micelles (Taxol®, Konakion MM®, valium MM®), émulsions submicroniques (Diazemuls®, Diprivan®, Intralipid®) et liposomes (Ambisome®, Doxil®, Visudyne®). Il est possible de consulter des résumés des données cliniques et de sécurité présentées et évaluées pour ces nanomatériaux (voir FDA⁸ et EMA⁹).

On dispose de peu de connaissances sur la toxicité potentielle de certaines catégories de nanomatériaux manufacturés, comme des nanoparticules ayant des propriétés de surface particulières, mais ce domaine évolue rapidement. Le travail effectué jusqu'à présent concerne d'abord les dangers professionnels liés à la production et à la manutention des matériaux nanostructurés. Il existe une série de documents disponibles (Donaldson *et al.*, 2001; Gatti *et al.*, 2008a, 2008b; Hansen *et al.*, 2006; Nel *et al.*, 2006; Oberdorster *et al.*, 2005a; 2007) suggérant que, au vu de leur surface de contact accrue et de leurs propriétés biocinétiques potentiellement altérées, les nanoparticules pourraient avoir un profil toxicologique qui s'écarte de leur équivalent en vrac. La toxicité du nanomatériel pourrait néanmoins être moins ou plus grande ou encore similaire à celle du matériel en vrac selon les caractéristiques à la fois du matériel qui le compose et de la particule elle-même (EFSA, 2009). La relation entre le nanomatériel et le matériel en vrac pourrait dépendre des paramètres de doses utilisés pour la comparaison.

⁸ <http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cder/DrugsatFDA/>

⁹ <http://www.emea.europa.eu/htms/human/epar/eparintro.htm>

Il n'existe en revanche que peu d'études publiées sur la toxicité orale de certains types de nanomatériaux manufacturés, y compris celles sur les particules solides grandement limitées aux métaux et aux oxydes métalliques insolubles. La qualité de plusieurs de ces études peut être mise en doute, limitant considérablement le recours à ces informations dans le cadre d'évaluations des risques (EFSA, 2009). Il s'agit notamment de limites communes découlant de: l'utilisation d'un nanomatériel manufacturé d'une seule taille, d'un nanomatériel manufacturé peu défini, de l'administration de nanomatériaux manufacturés à des doses exagérément élevées, à l'étude d'une série limitée de paramètres biologiques ou à l'omission du recours à une particule de même composition plus grande et à une forme soluble du matériel parent en tant que comparateurs afin de faire la distinction entre les effets des tailles des particules et ceux de la libération de particules des matériaux de surface dans la solution (Oberdorster *et al.*, 2007). L'état actuel des connaissances ne permet donc pas une prédition fiable des caractéristiques toxicologiques d'un nanomatériel manufacturé donné à partir de données d'autres nanomatériaux manufacturés ou d'un examen des caractéristiques du nanomatériel manufacturé lui-même. Bien que nettement plus importante que pour les nanomatériaux manufacturés, les capacités de prévoir grâce à l'informatique (par exemple, en utilisant les relations quantitatives structure-activité – QSAR) les propriétés toxicologiques des matériaux traditionnels sont néanmoins limitées et d'une fiabilité fluctuante.

34

Réunion d'experts FAO/OMS sur l'application des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture: incidences possibles sur la sécurité alimentaire

Seul le nanomatériel manufacturé est susceptible de déclencher des effets biologiques. Les nanomatériaux manufacturés pourraient absorbés ou liés des protéines ou d'autres composés sur leur surface (Lynch et Dawson, 2008; Simon et Joner, 2008) et agir comme des transporteurs de ces substances dans l'organisme. Bon nombre de nanomatériaux manufacturés ont en effet été conçus ou sont prévus à cet effet. Ce potentiel de liaison sélective et de transport a été désigné comme l'effet «cheval de Troie» (EFSA, 2009). L'utilisation d'un nanotransporteur pour accroître la biodisponibilité des composés bioactifs soulève les mêmes problèmes. Il est suggéré que ces systèmes de distribution ont un impact sur l'absorption des molécules, par exemple en introduisant des molécules non choisies comme des composés non digérés ou non métabolisés dans le tube digestif, menant à des effets non désirés. Par exemple, le chitosane peut adsorber des graisses, y compris des micronutriments liposolubles, et empêche ainsi leur absorption dans l'appareil digestif (Alkhamis *et al.*, 2009). Ces problèmes et les possibilités de perturber la barrière gastro-intestinale devront être examinés lors de l'évaluation de sécurité des nanomatériaux manufacturés qui disposent de ce potentiel et, en particulier, exigeront un examen minutieux des caractéristiques biocinétiques et de liaison des nanomatériaux manufacturés étudiés.

Analyses *in vitro* et *in vivo*

Systèmes d'analyse: L'une des questions les plus importantes pour l'évaluation de la sécurité est celle ayant trait à la sensibilité et à la validité des tests actuellement utilisés (par exemple dans les lignes directrices de l'OCDE). Une série de nanomatériaux manufacturés, comme de grandes molécules et liposomes, ont été examinés avec



fruit en utilisant ces protocoles ou d'autres identiques, mais les études sur des nanoparticules structurées sont plus restreintes. C'est pourquoi, même si les connaissances sur la toxicité potentielle des nanoparticules augmentent, les études sur les voies orales restent jusqu'à présent limitées à des doses aiguës (simple dose). Il existe une forte demande en études s'intéressant à l'exposition orale chronique à des nanoparticules combinées à un large éventail d'effets possibles. Des informations provenant d'études de toxicité avec d'autres voies d'exposition montrent que plusieurs effets généraux sur différents systèmes organiques peuvent survenir après une exposition à long terme à certaines nanoparticules, y compris les systèmes immunitaire, inflammatoire et cardiovasculaire. Aucune étude sur l'exposition orale à long terme n'a été menée. Les effets sur les systèmes immunitaire et inflammatoire pourraient inclure un stress oxydatif et/ou une activation des cytokines inflammatoires dans les poumons, le foie, le cœur et le cerveau (Gatti et Montanari, 2008). Pour le système cardiovasculaire, il pourrait s'agir d'effets thrombotiques et d'effets nocifs sur la fonction cardiaque (infarctus aigu du myocarde et effets néfastes sur la fréquence cardiaque). On ne dispose à l'heure actuelle d'aucune donnée sur la génotoxicité ou sur les possibles cancérogénicité et tératogénicité des nanoparticules (Bouwmeester *et al.*, 2009). Les effets possibles à long terme dépendront, au moins en partie, du taux de biodégradation au sein de l'organisme et donc, de la biopersistance des particules, associés au modèle de distribution et à l'efficacité de l'élimination.

Tout comme les substances traditionnelles, il s'agira d'être prudent au moment d'évaluer la pléthore d'études *in vitro* sur les nanoparticules et d'extrapoler leurs résultats ou procédés pour la caractérisation des dangers à l'évaluation des risques chez les êtres humains (Oberdorster *et al.*, 2007). Les problèmes classiques avec les publications sur les études *in vitro* des nanomatériaux manufacturés sont l'administration de doses et de débits de dose physiologiquement non pertinents, l'agrégation de particules, l'exposition directe des cellules aux nanomatériaux manufacturés et l'interprétation des résultats. Ces études pourraient en revanche convenir pour analyser les explications mécanistes des effets toxiques ou comme méthodes de sélection à associer à des études de profilage dans le cadre d'une approche à plusieurs niveaux d'une évaluation des dangers (Balbus *et al.*, 2007; Lewinski *et al.*, 2008). Une conclusion commune semble se dégager des analyses *in vitro*, à savoir la génération de dérivés réactifs d'oxygène (Balbus *et al.*, 2007; Chen *et al.*, 2008; Donaldson et Borm, 2004; Lewinski *et al.*, 2008; Nel *et al.*, 2006; Oberdorster *et al.*, 2005b; Peters *et al.*, 2007).

Paramètres de dose: Au moment de décrire les relations dose-réponse des nanomatériaux manufacturés, il convient de prendre en considération plusieurs paramètres de dose interdépendants, à savoir la masse, la quantité et la surface. Même si des études avec des nanoparticules ont montré que pour une nanoparticule donnée, n'importe lequel de ces paramètres peut être utilisé pour établir les réponses observées, tel n'est pas le cas lorsque l'on compare les réponses entre différents types de nanoparticules. Il n'est donc pas suffisant de ne rapporter que les doses de masse comme paramètre puisqu'il n'intègre pas les caractéristiques spécifiques des nanomatériaux manufacturés (CSRSEN, 2006;

CSRSEN, 2007a). Des études menées par plusieurs groupes ont montré que la surface des nanoparticules était un paramètre plus indiqué que la masse ou la quantité pour comparer les différents types de nanoparticules (Donaldson *et al.*, 2001; Duffin *et al.*, 2002; Oberdorster *et al.*, 2007).

Il semble donc évident qu'il faut définir les nanomatériaux manufacturés le plus complètement possible (Oberdorster *et al.*, 2005a; OCDE, 2008b; Powers *et al.*, 2006; Thomas et Sayre, 2005) en ce qui concerne l'aire de la surface et la concentration numérique par rapport à la masse pour établir des relations dose-réponse. Sachant que, pour des nanomatériaux manufacturés faiblement solubles, la réactivité chimique de même que l'activité biologique dépendent des caractéristiques de surface, il faut envisager un autre paramètre lié à la surface, la réactivité de la surface, dans les futures études.

Études cliniques: Le groupe de travail n'a trouvé que très peu de données cliniques humaines. Il existe deux études sur les êtres humains qui évaluent la biodisponibilité de substances liposolubles (vitamines E, coenzyme Q10) encapsulées dans des particules hydrophiles par rapport à des solutions huileuses ou des préparations cristallines. La nanoparticule associée CoQ10 a montré une immersion préalable par rapport aux dispersions huileuses et à la cristalline CoQ10, générant une surface sous la courbe fortement élevée entre 0 et 4 heures, mais pas entre 0 et 12 heures. La supplémentation à long terme a eu pour résultat des niveaux de plasma considérablement élevés pour toutes les formulations comportant de la CoQ10 nanoencapsulée par rapport aux autres préparations (Schulz *et al.*, 2006; Wajda *et al.*, 2007). Dans un essai clinique, la biodisponibilité de bonbons gélifiés vitaminés contenant de la vitamine E nanoencapsulée a été évaluée en comparaison à des préparations traditionnelles (Back *et al.*, 2006). La surface sous la courbe (0-320 minutes) de l'alpha-tocophérol nanoencapsulé était considérablement plus grande ($p = 0,016$) comparée au produit traditionnel. Il convient pousser plus loin les études sur les différences de biodisponibilité au moment d'utiliser des nanoparticules pour transporter des micronutriments liposolubles afin de déterminer l'efficacité de cette approche, en particulier auprès des groupes souffrant d'une malabsorption des graisses.

Caractérisation des dangers

Au regard des fortes incertitudes concernant à la fois l'extrapolation des informations sur la toxicité des matériaux en vrac pour les nanomatériaux et l'interpolation de données limitées disponibles sur la toxicité des nanomatériaux, la caractérisation des dangers peut représenter la partie la plus problématique de l'évaluation des risques des nanomatériaux lorsque des études directes ne sont pas disponibles. Dans un premier temps, et jusqu'à ce que des données soient développées et partagées pour établir une meilleure compréhension des variations des effets toxicologiques en relation avec les diverses caractéristiques des nanoparticules, l'évaluation des dangers doit être pratiquée au cas par cas. Quelques règles générales ont été suggérées pour les évaluations individuelles (CSRSEN, 2007) sur base des capacités à extrapoler à partir de données



existantes sur des matériaux en vrac en se servant d'informations sur l'absorption, la distribution, le métabolisme et l'excrétion (ADME). Lorsqu'il n'est pas aisé de procéder à de telles extrapolations, il est possible que la caractérisation des dangers requière la collecte de données sur l'ADME et la toxicité du matériel donné et de la voie d'exposition probable.

Examen de la dose-réponse

À partir des doses sans effet ou des doses repères pour caractériser le risque, surtout à des fins réglementaires, il convient de mener des études toxicologiques *in vivo* en utilisant un paramètre de dose basé sur la masse. Toutefois, il est plus probable que des paramètres physicochimiques, comme la surface, la taille et la charge superficielle, décrivent la relation dose-réponse pour les nanomatériaux dans l'organisme, plutôt qu'une mesure de la dose basée sur la masse. Outre des méthodes d'administration contrôlable des doses, il convient de mettre au point des analyses cinétiques pour convertir les paramètres de dose *in vivo* et d'autres paramètres physicochimiques pertinents par rapport aux réponses pour évaluer correctement les relations dose-réponse entre la dose administrée et les effets biologiques. Ces analyses pourraient également aider à introduire les résultats des études *in vivo* à l'évaluation de la dose-réponse. Néanmoins, il existe des limites à la détection, à l'analyse et à la caractérisation des nanomatériaux dans les systèmes biologiques après absorption, de même que dans les matrices complexes du véhicule d'administration. Du reste, dans certains cas, les paramètres physicochimiques des nanomatériaux, comme la taille des particules et la charge superficielle, peuvent différer avant et après l'absorption dans l'organisme. Il convient de tenir compte de ces incertitudes dans l'évaluation de la dose-réponse au même titre que les incertitudes inhérentes aux différences entre et au sein des espèces.

Différences entre espèces au niveau de la toxicocinétique et de la toxicodynamique spécifiques aux nanoparticules

Compte tenu de l'insuffisance de données sur la toxicocinétique et la toxicodynamique de nanoparticules administrées par voie orale d'une manière générale, il n'est pas possible d'en dire beaucoup plus sur les possibles différences entre espèces. Il est toutefois clair que les modèles de test doivent être choisis avec précaution pour s'assurer que l'exposition des êtres humains répond à des modèles aussi précis que possible, compte tenu des connaissances actuelles et, surtout, de la sensibilité aux mécanismes d'action les plus probables des nanoparticules.

Études épidémiologiques

La majeure partie des études épidémiologiques publiées sur des nanoparticules et d'autres nanomatériaux manufacturés s'est concentrée sur l'exposition par inhalation (Oberdörster *et al.*, 2005; CSRSEN, 2006). Malgré des recherches approfondies dans la documentation, aucune étude épidémiologique n'a pu être trouvée sur des nanomatériaux manufacturés dans des aliments. De même, aucune étude épidémiologique de nanoparticules présentes de façon naturelle dans les aliments n'a pu être trouvée alors que

la consommation de certaines nanoparticules naturelles a été documentée depuis l'Antiquité (Carretaro, 2002; Wilson, 2003).

Évaluation de l'exposition

L'utilisation des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation ou de l'agriculture pourrait exposer les êtres humains à des nanomatériaux manufacturés. L'exposition à des nanomatériaux par le régime alimentaire n'est pas un phénomène nouveau: les êtres humains sont exposés aux nanomatériaux depuis toujours, par exemple, des nanoparticules de dioxyde de titane et de silice (Murr, 2009), de l'argile et de la suie (Nowack et Bucheli, 2007), des colloïdes aquatiques (Ju-Nam et Lead, 2008).

Faire la distinction entre les nanoparticules naturelles et manufacturées dans les aliments et dans d'autres milieux posera des difficultés au moment d'estimer l'exposition alimentaire.

38

Réunion d'experts FAO/OMS sur l'application des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture: incidences possibles sur la sécurité alimentaire

Dans le secteur alimentaire, les nanomatériaux manufacturés peuvent être utilisés dans le matériel de transformation, les emballages alimentaires, les matériaux au contact des aliments ou servir directement dans les aliments et les boissons (Sozer et Kokini, 2009). Le recours aux nanomatériaux manufacturés dans l'agriculture implique leur utilisation dans les aliments pour animaux (Spriull, 2006), dans les médicaments vétérinaires (Ochoa *et al.*, 2007), dans l'aquaculture (Kumar *et al.*, 2008), en tant que systèmes intelligents de distribution de pesticides et d'engrais (Mukal *et al.*, 2009), biocapteurs (FSA, 2008), régulateurs de croissance des plantes (Choy *et al.*, 2007) et l'utilisation de plantes pour synthétiser des nanoparticules (Gardea-Torresdey *et al.*, 2002; 2003). La plupart de ces produits sont soumis à un certain niveau de contrôle réglementaire dont un examen et une approbation avant leur mise sur le marché.

Pour les suppléments alimentaires et les matériaux en contact avec des aliments, les informations sur les quantités de substances prévues pour être utilisées dans les aliments ou migrant des matériaux vers les aliments sont habituellement bien définies. En outre, les résidus de médicaments vétérinaires et de pesticides/herbicides dans ou sur les aliments servent de base pour mener des évaluations de l'exposition. Ces données sont en général associées aux informations sur la consommation ou à d'autres données sur l'utilisation pour estimer prudemment l'exposition alimentaire. Par contre, les possibles expositions environnementales aux nanomatériaux manufacturés posent d'énormes difficultés du fait du besoin de caractériser et de quantifier les matériaux une fois relâchés. Le fait que les nanomatériaux manufacturés soient absorbés dans la chaîne alimentaire ou transportés vers les sources d'eau fera fluctuer l'exposition d'origine alimentaire aux nanomatériaux manufacturés à partir de sources environnementales et agricoles.

Toutes les utilisations des nanomatériaux manufacturés n'impliqueront pas forcément une exposition et toutes les expositions ne comporteront pas forcément des risques. Dans certains cas, la conception et l'utilisation des nanomatériaux manufacturés pourraient réduire les probabilités d'une exposition. Les nanoparticules fixes dans un milieu sont moins susceptibles de bouger dans l'environnement et n'impliqueront pas d'exposition humaine tant qu'elles resteront en place (Buzea *et al.*, 2007). Il convient



toutefois de noter que ces nanoparticules peuvent être libérées du milieu auquel elles sont intégrées si ce dernier est physiquement ou chimiquement modifié (par exemple, en cas de rejet ou d'utilisation), auquel cas, l'exposition aux nanoparticules est possible.

L'exposition humaine à des dangers se produit par inhalation, ou par voies cutanée ou orale. La voie orale est probablement la plus courante pour les expositions non professionnelles aux nanomatériaux manufacturés utilisés dans les secteurs agricoles ou alimentaires. Il a été porté moins d'attention à l'exposition orale aux nanomatériaux manufacturés qu'à la voie cutanée et à l'inhalation où de nombreux travaux ont été menés. Il sera nécessaire de s'intéresser à d'autres voies d'exposition – inhalation, voie cutanée, participation à la voie orale par épuration de l'appareil respiratoire par mouvements mucociliaires – au moment d'estimer l'exposition globale à partir de sources multiples, y compris celles provenant d'autres secteurs que l'alimentation et l'agriculture. Les scénarios d'exposition incluent les expositions via les aliments, les boissons ou l'eau contenant des nanomatériaux manufacturés, soit de façon intentionnée, soit par migration d'une autre source. Ils obligent à analyser la stabilité et la biotransformation potentielle de la substance pendant la transformation alimentaire ou dans les aliments.

L'exposition des êtres humains par intégration involontaire de nanomatériaux manufacturés dans la chaîne alimentaire doit également être envisagée. L'utilisation agricole des nanomatériaux manufacturés peut les transporter en dehors du site d'application ou d'utilisation, ce qui pourrait donner lieu à une exposition humaine indirecte par leur présence dans l'environnement. La libération ou l'élimination accidentelles de nanomatériaux manufacturés à partir d'utilisations non agricoles peut également engendrer une exposition environnementale. L'intégration de nanomatériaux manufacturés à la chaîne alimentaire et la bioaccumulation potentielle dans certaines espèces devront être examinées par la surveillance ou par d'autres études. Récemment, des études ont démontré la pénétration, le transfert et l'accumulation de nanoparticules dans des cultures: fullerènes dans du riz (Lin et Xing, 2009), nanoparticules d'oxyde de fer dans des courges (Zhu *et al.*, 2008), hyperaccumulation de nanoparticules de fer dans la luzerne et la moutarde (Harris et Bali, 2008). Néanmoins, d'autres travaux devront être menés avant de présumer de résultats identiques pour toutes les cultures et nanoparticules. Des organismes alimentaires aquatiques peuvent également être exposés à des nanomatériaux manufacturés. Les moules assimilent les nanoparticules naturelles et accumulent les liaisons métalliques vers des nanocolloïdes (Pan and Wang, 2004). La daphnie, l'aliment préféré de certains poissons, ingurgite certaines nanoparticules (Zhu *et al.*, 2009). Les nanomatériaux manufacturés peuvent être transférés à des niveaux trophiques supérieurs, mais il n'est pas établi qu'il y ait bioaccumulation. Holbrook a exposé des protozoaires ciliés à deux types de points quantiques fluorescents. Les points quantiques ont également été retrouvés dans le rotifère qui se nourrit de ciliés, indiquant un transfert d'un niveau trophique à un autre. L'exposition des ciliés aux points quantiques a donc débouché sur une bioconcentration limitée dans les ciliés et à un transfert aux niveaux trophiques supérieurs (rotifères) dans une simple chaîne alimentaire aquatique d'invertébrés, même si les points quantiques ont finalement été excrétés par les rotifères et n'ont donc pas été bioaccumulés (Holbrook *et al.*, 2008).

La quantification ou l'estimation de l'exposition requiert que l'unité de mesure corresponde aux aspects pertinents d'un point de vue toxicologique du nanomatériel manufacturé. Il est possible de mesurer l'exposition en évaluant directement ces paramètres ou d'autres présentant un intérêt, ou en mesurant des quantités qui sont liées d'une façon ou d'une autre à un aspect intéressant. Le choix de l'unité de mesure appropriée dépendra des effets attendus du nanomatériel manufacturé. La mesure choisie pour évaluer l'exposition doit être cohérente avec celle qui permet la caractérisation du danger du nanomatériel manufacturé. De plus, la mesure ou estimation de l'exposition doit être compatible avec les échelles spatiale et temporelle sur base desquelles les effets néfastes sont définis dans l'évaluation de la relation dose-réponse. Le modèle d'exposition – durée, intensité et fréquence de l'exposition – doit être noté.

Il est particulièrement important pour l'évaluation de l'exposition d'avoir une idée du devenir, du transport et de la biotransformation des nanomatériaux manufacturés. Des études de surveillance ainsi que des modèles fourniront des estimations des nanomatériaux manufacturés dans divers milieux (par exemple, dans des aliments, de l'eau, des cultures, des animaux, le sol et des sédiments). Il convient aussi d'examiner la transformation des nanomatériaux manufacturés dans la mesure où certaines formes pourraient être plus mobiles que d'autres. Parmi les transformations à prendre en considération figurent les changements en d'autres formes chimiques et physiques. L'agglomération de nanoparticules en structures plus grandes est un exemple de transformation physique qui pourrait avoir une influence sur leur transport, devenir et danger (Maynard et Kuempel, 2005). Les conditions environnementales peuvent influencer la transformation et le transport des nanomatériaux manufacturés, y compris les conditions des aliments ou des matériaux en contact avec des aliments. Par exemple, des conditions environnementales appropriées (par exemple, le pH, la concentration en sel) pourraient déclencher la libération de matériaux issus de systèmes de livraison (Sanguansri et Augustin, 2006), et la présence d'un mélange complexe de composés dans le tube digestif pourrait interagir avec des nanomatériaux manufacturés (Hoet *et al.*, 2004).

Les études de surveillance fourniront des estimations de la situation réelle de l'exposition aux nanomatériaux manufacturés et aideront à développer les bons scénarios d'exposition. Pourtant, ces études, seules, n'apporteront pas d'estimations des circonstances qui diffèrent de celles de l'étude. Des modèles ou des équations mathématiques fourniront un outil qui permettra de telles prédictions de même que de futures estimations de l'exposition. Les modèles existants de l'exposition alimentaire évaluent l'exposition en termes de masse de dangers par unité de masse corporelle en combinant la dose journalière par tête de différents aliments avec les distributions espérées de produits chimiques ou de dangers biologiques dans l'alimentation. Ces modèles basés sur la concentration massique sont susceptibles d'être modifiés de façon à ce qu'ils estiment les attributs toxicologiques pertinents si la concentration massique seule se révèle inappropriée. Des progrès dans ce sens ont été faits au niveau de l'estimation des attributs intéressants à partir de mesures de particules en suspension (Maynard, 2002). Il est possible qu'il faille mettre au point de nouveaux modèles du devenir pour prévoir le comportement des nanomatériaux dans les aliments ou dans l'environnement si l'attribut



toxicologique d'intérêt du nanomatériel manufacturé (comme la taille de la particule, la surface de contact, la forme de la particule, la porosité ou la chimie de la surface) ne peut être évalué sur base des modèles basés sur la concentration massique. L'étude récente sur la migration des nanoparticules manufacturées depuis les matériaux en contact avec les aliments, qui se fondait sur l'évaluation de la distance moyenne que parcourront les nanoparticules dans la matrice polymère, est un exemple de modèle de prévision du devenir et du transport utilisant des propriétés physicochimiques des nanomatériaux manufacturés.

Caractérisation des risques

La caractérisation des risques pour les nanomatériaux manufacturés ne devrait, en principe, pas différer de celle suivie pour les substances chimiques solubles ou pour les matériaux à l'échelle micro ou macroscopique (EFSA, 2009). À l'instar de la caractérisation des risques pour les formes non nano du même produit chimique, il convient d'attacher de l'importance à l'utilisation des facteurs d'incertitude des nanomatériaux manufacturés (EFSA, 2009). La caractérisation de l'incertitude pourrait requérir une analyse plus rigoureuse qu'une simple application des facteurs d'incertitude. Les données relatives à la toxicologie et à l'exposition sont en général moins bien développées pour les nanoparticules que pour les autres nanomatériaux manufacturés. La caractérisation de l'incertitude liée aux nanoparticules pourrait exiger une attention particulière au moment de définir les risques.

41

Applicabilité du modèle d'évaluation des risques aux nanoparticules

On estime en général que le modèle typique d'évaluation des risques convient aux nanomatériaux manufacturés (CSRSEN, 2006; 2007a; FSA, 2008; COT, 2005; 2007) et aux nanomatériaux manufacturés utilisés dans les secteurs de l'alimentation et de l'alimentation pour animaux (EFSA, 2009). Le paradigme d'évaluation des risques semble également applicable aux nanoparticules même s'il est probable que certaines modifications de la méthodologie soient nécessaires (FDA, 2007; CSRSEN, 2005; Conseil des Académies canadiennes, 2008). Il faut apporter une attention particulière aux actions antimicrobiennes des nanoparticules sur la microflore normale ayant des conséquences sur la sécurité microbienne ou des effets sur l'allergénicité causée par l'absorption de peptides protéines sur les nanoparticules (effet «cheval de Troie»).

Approches ou outils spéciaux requis pour l'évaluation des risques des nanoparticules

De meilleures méthodes de détection des nanoparticules dans des matrices complexes permettraient d'améliorer les évaluations de l'exposition (NEHI, 2008; EFSA, 2009). Le NNI Research Plan des États-Unis a discuté de la nécessité de mettre au point des approches et des modèles informatiques pour aider à combler l'écart entre les substances à l'échelle macroscopique et celles à l'échelle nanométrique. Il s'agit d'une approche

pragmatique pour pallier certaines incertitudes toxicologiques puisqu'exiger de nouveaux tests de tous les matériaux à l'échelle nanométrique ralentira sûrement les applications bénéfiques de cette technologie.

Examen d'une approche d'évaluation des risques à plusieurs niveaux

Une méthode d'évaluation des risques à plusieurs niveaux des nanomatériaux manufacturés pourrait s'avérer utile pour établir des priorités au niveau de l'utilisation des moyens pour la génération de nouvelles données et méthodologies sur les risques. À l'heure actuelle, l'état des connaissances des seules propriétés des nanomatériaux manufacturés ne permet pas d'identifier les critères exacts qui présentent des «limites claires» pour leur inclusion, ou exclusion, lors de l'évaluation des risques spécifiques aux nanomatériaux. Par exemple, l'utilisation de la mesure 100 nm pour la taille des particules en tant que seuil absolu n'a aucun fondement biologique, de sorte qu'il est impossible de la désigner comme critère d'inclusion ou d'exclusion comme «si les particules moyennes excèdent 100 nm, il n'est pas nécessaire de procéder à des tests spécifiques à l'échelle nanométrique». Il pourrait donc être utile, dans l'évaluation des risques d'examiner toutes les propriétés potentielles qui pourraient induire un comportement biologique ou physique unique qui justifierait une évaluation toxicologique supplémentaire.

La première étape d'une méthode à plusieurs niveaux consiste à mener une évaluation de sélection préliminaire pour déterminer si les données disponibles sur les nanomatériaux manufacturés sont suffisantes ou s'il convient de mener une évaluation plus détaillée, impliquant la génération de données supplémentaires. Pour cette première étape, nous prévoyons le recours à de nombreux indicateurs, tant physicochimiques que biologiques. Des premiers indicateurs servent à aider à hiérarchiser les analyses et les tests suivants. En l'absence de résultats validés des tests, cette approche à plusieurs niveaux peut avoir recours à des suppositions prudentes pour combler le manque d'informations sur l'évaluation des risques.

L'organisation des données générées par les évaluations de sélection, établissant des liens entre les propriétés physiques/chimiques, le comportement biologique et les risques associés, devrait permettre la réalisation d'un arbre de décision. Enfin, cela devrait permettre de hiérarchiser les types ou les classes de matériaux pour lesquels il faudrait sans doute obtenir des données supplémentaires pour réduire les incertitudes dans

Tableau 2. Indicateurs physicochimiques et biologiques/toxicologiques

Indicateurs: physicochimiques	Indicateurs: biologiques/toxicologiques
Solubilité	Biopersistance
Taille des particules/distribution selon la taille	Biodisponibilité
Complexité de la composition	Biocorona
Réactivité de la surface	Possibilité d'agir comme un «cheval de Troie»



l'évaluation des risques. Du reste, cela permettrait de retirer du processus d'examen poussé les nanomatériaux (par exemple, les nanostructures naturellement présentes) qui ne soulèvent pas de préoccupations supplémentaires en matière de sécurité.

Les participants à la réunion ont reconnu que le premier niveau d'un possible cadre de hiérarchisation serait très utile. Pour ce faire, un diagramme a été élaboré. Néanmoins, il a été décidé qu'il était nécessaire de poursuivre l'analyse minutieuse de plus de facteurs impliqués dans la priorisation et/ou le classement avant de mettre au point ce genre d'approche. Elle pourrait inclure un arbre décisionnel afin d'identifier les catégories de nanomatériaux manufacturés qui requièrent une attention spécifique au regard des données et des méthodes utilisées dans leur évaluation des risques.

Réflexions sur le cycle de vie du produit

Il est important de tenir compte du cycle de vie dans l'évaluation d'un nanomatériel manufacturé. Cela signifie, par exemple, que le devenir dans l'environnement doit être analysé pour évaluer l'exposition humaine indirecte par le biais des aliments. L'examen des différentes étapes du cycle de vie dans le cadre d'une évaluation des risques permettra d'identifier et de classer les voies d'exposition et de repérer les changements d'attributs des nanomatériaux manufacturés aux différentes étapes et donc d'identifier le besoin d'une évaluation plus détaillée de cycles de vie précis. Il est plus facile de mener ce genre de réflexions à la phase de l'évaluation de l'exposition de l'évaluation des risques.

L'intégration du cycle de vie à ce moment permettra d'identifier les étapes de ce dernier où l'exposition humaine a la plus grande chance de se produire. Elle identifiera également les voies environnementales qui pourraient déboucher sur une exposition au travers de la chaîne alimentaire, facilitant un examen de l'exposition du producteur au consommateur. L'élimination d'entités contenant des nanomatériaux manufacturés, par exemple, des matériaux en contact avec les aliments, des emballages alimentaires, des aliments et de l'eau, pourrait libérer des nanomatériaux manufacturés dans l'environnement, entraînant leur incorporation dans des produits agricoles. L'incinération des nanomatériaux manufacturés pourrait également donner lieu à une exposition humaine (et animale) par intégration dans des produits agricoles et des aliments pour animaux. Cette approche pourrait être utilisée de façon itérative dans le cadre d'une méthode à plusieurs niveaux pour conduire une évaluation des risques.

Des quantités résiduelles de nanomatériaux manufacturés qui restent chez les animaux producteurs de denrées alimentaires au moment de leur abattage pourraient déboucher sur une exposition des êtres humains qui les consomment. Une autre illustration est l'utilisation des nanomatériaux manufacturés dans du matériel de conditionnement alimentaire provoquant une exposition directe aux nanomatériaux manufacturés des aliments emballés par le matériel si ce dernier est compromis. Une exposition humaine secondaire à partir des aliments pourrait survenir au moment de l'élimination du matériel d'emballage dans un composteur et de la libération qui s'ensuit des nanomatériaux manufacturés dans le sol, entraînant une absorption par les produits maraîchers.

Plusieurs cadres d'évaluation des risques intégrant le cycle de vie ont été suggérés (par exemple, Davis, 2007; DuPont, 2007; Shatkin, 2008). Le Nano LCRA, un cadre

itératif qui utilise l'information existante pour identifier les étapes du cycle de vie au cours desquelles une exposition peut survenir et qui hiérarchise donc les besoins de recherche, est un exemple. Il est répété lorsque des données supplémentaires sont disponibles. Ce cadre permet une prise de décision préliminaire en situation d'incertitude bien qu'en cas d'incertitude plus forte, il conviendrait d'adopter des approches plus conservatrices de l'évaluation des risques.

Réflexions sur la santé animale y compris sur l'origine des aliments pour animaux et les résidus dans les tissus animaux

Même si le présent document s'intéresse principalement à l'évaluation des risques pour les êtres humains, certains risques pour les animaux sont intéressants. L'exposition intentionnelle des animaux producteurs de denrées alimentaires aux nanomatériaux pourrait se faire au travers de médicaments et de produits biologiques vétérinaires (vaccins), d'ingrédients des aliments pour animaux, ou par l'implantation sous-cutanée d'identifiants qui utilisent des nanomatériaux en vue de la traçabilité.

L'exposition non intentionnelle des animaux producteurs de denrées alimentaires aux nanomatériaux pourrait survenir par la consommation de fourrage exposé à des nanomatériaux ou de pâtures sur des prairies où des plantes ont été exposées à des nanomatériaux par l'intermédiaire d'engrais, de pesticides ou de contamination environnementale. De plus, l'eau (à boire ou comme habitat des poissons) pourrait être une source d'exposition à des nanomatériaux.

Pour les médicaments vétérinaires, il s'agit principalement, dans le cadre d'une évaluation des risques, de déterminer si le modèle de résidus est modifié ou si de nouveaux résidus apparaissent. Par exemple, le transporteur nanométrique est-il toujours présent? Dans le cas de compléments pour l'alimentation animale, l'évaluation des risques s'intéressera particulièrement à la santé des animaux et à la sécurité des denrées alimentaires (d'origine animale). Dans l'exemple des nanomatériaux servant à lier des mycotoxines aux ingrédients pour prévenir la mycotoxicose (Ying Hua *et al.*, 2005), il faudrait examiner tous les effets sur la santé animale liée à l'utilisation de nanomatériaux lors d'une évaluation des risques. Du reste, il faudrait aussi se pencher sur toutes les actions des nanomatériaux résiduels présents dans les aliments dans le cas d'animaux producteurs de denrées alimentaires.

Lors d'une évaluation des risques, il convient d'examiner le cycle de vie de toute application nanotechnologique liée aux animaux producteurs de denrées alimentaires. En effet, en examinant le mouvement des nanomatériaux le long de la filière agroalimentaire, il sera possible d'identifier les différents points où il conviendra de mener une évaluation des risques. Il est particulièrement important de mener ce genre de réflexions pour les nanomatériaux persistants. Deux sous-groupes ont été formés à partir du Groupe de travail ad hoc sur les biotechnologies de l'Organisation mondiale de la santé animale (OIE): l'un sur la vaccinologie et l'autre sur les diagnostics moléculaires. Ces deux sous-groupes s'intéresseront à toutes les applications des nanotechnologies intéressantes dans ces domaines.



Besoins futurs pour l'évaluation et la prévention des risques pour la santé humaine et animale

Bases de données

- Inventaire soumis à un contrôle de qualité des produits contenant des nanomatériaux ou issus de processus alimentaires à destination des hommes ou des animaux basés sur la nanoscience et/ou les nanotechnologies établi sur base d'allégations statistiquement testées et d'échantillons aléatoires de nouveaux produits susceptibles de provenir de la nanoscience ou des nanotechnologies.
- Archives soumises à un contrôle de qualité, accessibles à distance et interrogeables d'informations relatives à la caractérisation, à la toxicologie et à l'exposition.
- Archives soumises à un contrôle de qualité, accessibles à distance et interrogeables d'évaluations des risques et de méthodes de test.
- Archives soumises à un contrôle de qualité, accessibles à distance et interrogeables des équipements de sécurité et des caractéristiques d'équipement.

Évaluation de l'exposition

- Méthodes et instrument analytiques requis pour évaluer l'exposition (externe) des populations et l'exposition (interne) des organes dans le corps – favorisation d'approches non invasives.
- Méthodes et instrument analytiques requis pour caractériser, détecter et suivre les nanomatériaux inorganiques et organiques dans les matrices des aliments pour les êtres humains et pour les animaux, de préférence à une vitesse de traitement élevée.

Identification et caractérisation des dangers

- Documentation, analyse et prédition de la biodisponibilité des nanomatériaux dans le corps humain et dans les animaux, de même que leur devenir (absorption, distribution, métabolisme et excrétion par des procédés biocinétiques actifs et passifs).
- Documentation, analyse et prédition des implications biocinétiques des revêtements et d'autres moyens de fonctionnalisation.
- Documentation, analyse et prédition de la façon dont l'utilisation de nanomatériaux peut avoir un lien avec la contamination des aliments pour les hommes et les animaux.
- Méthodes pour évaluer, comprendre ou prévoir la toxicité des nanomatériaux *in vitro*, *in vivo* et *in silico* – en minimisant le plus possible l'utilisation d'animaux.
- Méthodes pour évaluer, comprendre ou prévoir la stabilité (inversement, la transformation et l'interaction avec d'autres ingrédients) de nanomatériaux dans les aliments pour les hommes et les animaux dans le temps et dans différentes conditions environnementales.

Résumé

À l'avenir, les besoins et les façons de progresser pour éviter les risques pour la santé humaine aux niveaux international et national porteront sur les connaissances

(scientifiques et données de marché), sur les moyens (financements des études, des installations et des chercheurs formés) et sur les mécanismes (collaboration internationale sur la caractérisation, conception de méthodes et de tests, collaboration internationale de plusieurs parties prenantes pour la rédaction de directives et l'harmonisation, participation du public et gouvernance sociétale).

Besoin au niveau des connaissances

En effet, les principales lacunes restent liées à la caractérisation des nanomatériaux en tant qu'éléments composant le matériel en contact avec des aliments ou les ingrédients des préparations alimentaires pour les êtres humains ou les animaux, ainsi qu'aux effets des aliments conçus grâce aux nanosciences et/ou des nanotechnologies pour les hommes ou les animaux sur les caractéristiques des aliments disponibles sur le marché. Donc, en se concentrant avant tout sur les données existantes, la priorité consiste avant tout à partager i) les données existantes sur la caractérisation, la toxicologie et l'exposition liées à l'évaluation des risques, ii) les expériences avec les différents tests et méthodes pour mettre à jour les procédures d'exploitation normales et iii), en vue d'étayer l'évaluation de l'exposition, les informations commerciales concernant les applications actuelles et prévues (cf. inventaires) en faisant la différence entre les allégations non vérifiées et les applications actuelles avérées des nanosciences et/ou des nanotechnologies aux aliments pour les hommes ou les animaux.

Néanmoins, les informations disponibles ne suffiront pas. C'est la raison pour laquelle, les universités et d'autres institutions scientifiques indépendantes devraient prévoir et mener des recherches pour obtenir des données de haute qualité, comparables et valables. Ces informations ne devraient pas uniquement permettre de répondre aux besoins d'évaluation de risques précis, mais également d'établir des méthodes d'évaluation des risques pertinentes, fiables et reproductibles – y compris d'autres solutions que des tests sur des animaux – et d'harmoniser, au niveau international, les directives relatives aux évaluations des risques et de la sécurité. Cette tâche essentielle pour faire progresser les connaissances scientifiques ne doit pas exclure des considérations pragmatiques et opérationnelles, surtout en ce qui concerne les méthodes à plusieurs niveaux (cf. les algorithmes de décision) et d'autres stratégies destinées à clarifier et simplifier le processus d'évaluation des risques, et à identifier des moyens de gérer les informations incomplètes – afin d'éviter de devoir imaginer le plus haut niveau de danger et d'exposition en cas d'absence de données.

Besoins au niveau des moyens

Pour promouvoir l'évolution des sciences et la mise au point de méthodes, il faut disposer de bases de données partagées, accessibles à distance sur une série de sujets différents (applications, caractérisation, toxicologie, exposition, incidents médicaux rapportés, etc.) et des infrastructures, notamment, il faut partager des installations d'analyse. Plus spécifiquement, il faudra dégager des fonds pour tester des produits dits «nano» et «et d'autres qui, bien que ne se présentant pas comme tels, pourraient l'être.



Compte tenu de la vitalité d'une forte communauté scientifique, le monde universitaire, l'industrie, les autorités publiques et les organisations non gouvernementales (ONG) doivent être en mesure de faire appel aux compétences d'un réservoir de scientifiques spécifiquement formés aux nanosciences et aux nanotechnologies. Étant donné le temps nécessaire à la formation des personnes, il faut prendre des dispositions pour s'assurer que tel sera le cas, à la fois dans le contexte des institutions d'enseignement universitaire et dans le cadre de la formation continue.

Besoins au niveau des processus

Les paragraphes qui précèdent soulignent implicitement les besoins au niveau des processus, à savoir i) le renforcement ou la mise en place d'une collaboration scientifique internationale sur la caractérisation, la conception de méthodes et de tests spécifiques aux aliments pour les hommes et les animaux ou, du moins, en prenant des dispositions spécifiques pour l'un et l'autre, ii) la mise en place d'un dialogue international, de plusieurs parties prenantes, structuré et continu pour élaborer une série de directives harmonisées et iii) information et participation du public et, plus généralement, garantie d'une bonne gouvernance globale.

47





Établissement d'un dialogue transparent et constructif entre les parties prenantes – Confiance des parties prenantes

48

Participation des parties prenantes

Tous reconnaissent que, pour tous les sujets neufs ou controversés comme l'introduction de la nanotechnologie dans les aliments, la participation des parties prenantes est impérative. Dans le présent document, nous entendons par «parties prenantes», sans ordre particulier, les «industries», le «public», les «ONG de défense des consommateurs et de l'environnement», les «syndicats», les «autorités publiques» et les «scientifiques» ainsi que toutes les autres parties intéressées ou touchées. Toutefois, la participation ne peut pas simplement être ajoutée à une liste d'exigences de stratégies de gestion des nouveaux risques ou de formulation de politiques L'objectif de l'engagement des différents acteurs doit être identifié à l'avance, qu'il s'agisse d'éduquer, d'obtenir des opinions sur des idées ou d'identifier des préoccupations. Cette participation requiert beaucoup de moyens et doit donc se concentrer sur une série précise d'objectifs. Les points concernant la façon de participer, les calendriers relatifs aux points de décision essentiels, le format des interactions, l'identification des parties prenantes et la façon de tenir compte des informations issues de ces dernières lors du processus décisionnel, sont des éléments essentiels à identifier et à communiquer.

Communication sur les risques dans le cadre de l'analyse des risques

Les Principes de travail pour l'analyse des risques en matière de sécurité sanitaire des aliments destinés à être appliqués par les gouvernements du Codex (Codex 2007) incluent des exigences spécifiques pour la communication sur les risques et précisent qu'il convient de respecter les points suivants ayant trait à la participation du public:

- favoriser la compréhension du public afin de renforcer la confiance dans la sécurité de l'offre alimentaire;
- promouvoir l'implication appropriée de toutes les parties intéressées;
- échanger des informations relatives aux préoccupations des parties intéressées sur les risques associés aux aliments.



Tableau 3. Cadres analytiques délibératifs

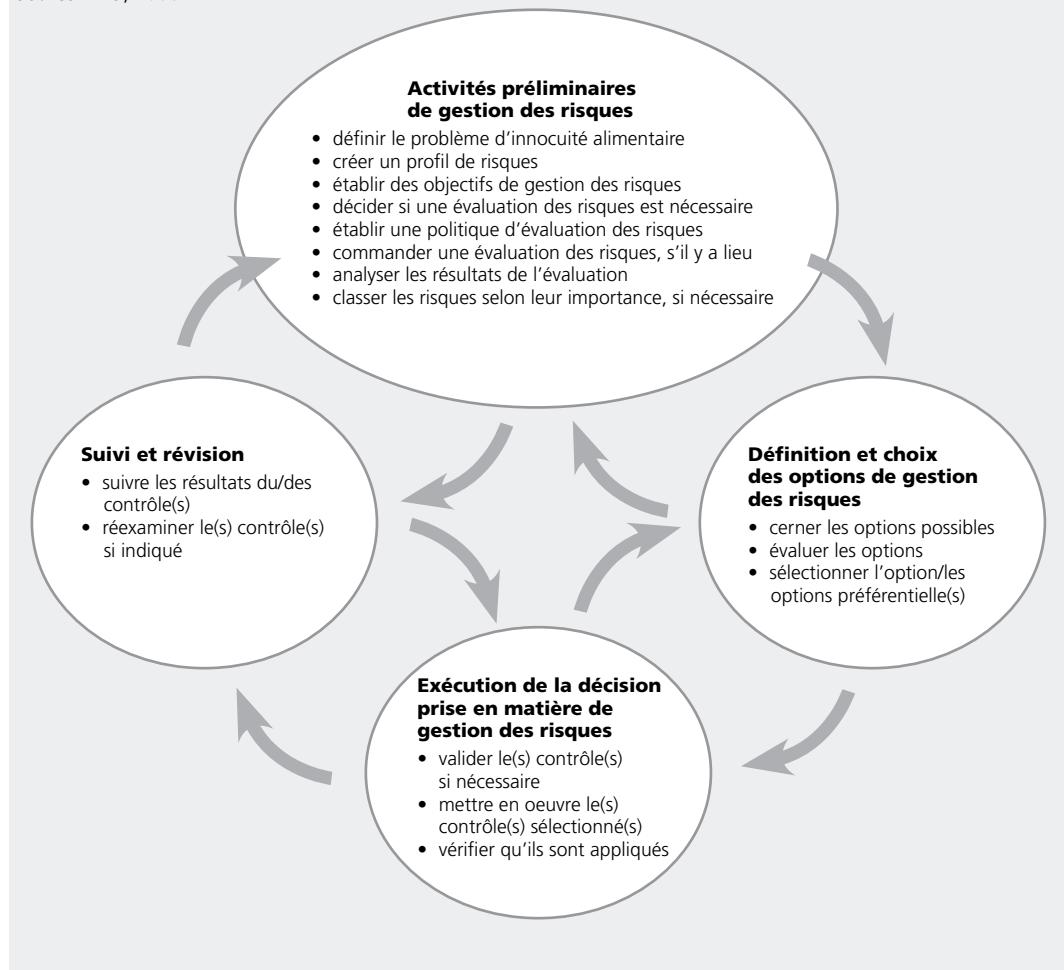
Cadre	Caractéristiques	Références et adresses web
Modèle FAO/OMS	Communication sur les risques et consultations établie dans un cadre international sur les risques en matière de sécurité sanitaire des aliments.	FAO/OMS. 2006. Étude FAO alimentation et nutrition 87. http://www.fao.org/docrep/010/a0822f/a0822f00.htm
NRC 1996	Participation des parties prenantes à un processus analytique et délibératif visant à identifier à grande échelle les préoccupations et les incertitudes des parties prenantes et y répondre.	<i>Understanding risk: informing decisions in a democratic society</i> (1996) www.nap.edu
Presidential Commission on Risk Assessment and Risk Management du gouvernement fédéral des États-Unis	Propose un modèle de participation au centre duquel se trouvent les parties prenantes qui sont consultées à chaque étape de l'évaluation et de la gestion des risques afin de résoudre les principales incertitudes grâce à un processus inclusif.	Presidential Commission on Risk Assessment and Risk Management du gouvernement fédéral des États-Unis. 1997. <i>Framework for environmental health risk management</i> . http://www.riskworld.com/nreports/1997/risk-rpt/pdf/EPAJAN.PDF .
Cadre de gouvernance des risques de l'IRGC	Comprend une évaluation des préoccupations dans l'analyse des risques afin d'identifier le niveau de controverse et de concevoir la participation idéale des parties prenantes pour y répondre lors du processus d'évaluation des risques.	IRGC. 2006. <i>Nanotechnology and risk governance</i> . White Paper No. 2. Genève.
SAFE FOODS (Pays-Bas)	Change la portée de la prise de décision en matière de sécurité sanitaire des aliments, ne se concentrant plus uniquement sur les risques simples, mais également sur les aliments en tant que sources de risques, d'avantage et de coûts liés à leur production et leur consommation, et tenant compte du contexte social dans lequel les décisions sont prises.	<i>Promoting food safety through a new integrated risk analysis approach for foods</i> . http://www.safefoods.nl/default.aspx

La fonction principale de la communication sur les risques est avant tout de «s'assurer que toutes les informations et les opinions requises pour une gestion des risques effective sont prises en compte dans le processus de prise de décision». La publication conjointe de la FAO et de l'OMS, *Analyse des risques relatifs à la sécurité sanitaire des aliments: Un guide à l'usage des autorités nationales responsables de la sécurité sanitaire des aliments*, reprend les principaux éléments de la communication sur les risques au sein du cadre FAO/OMS de gestion des risques et fournit des directives utiles sur le moment et la façon de (et de ne pas) faire participer les parties prenantes. Même si la communication est indispensable à chaque étape des processus d'analyse et de gestion des risques, le cadre met en exergue les étapes essentielles pour la participation des parties prenantes externes, comme le montre la Figure 2.

Dans sa publication *Understanding risk*, le National Research Council énonce les éléments d'un processus analytique et délibératif: faire que la science soit juste, obtenir la bonne science, parvenir à la bonne participation, obtenir le droit de participer, élaborer une synthèse correcte, équilibrée et informative. Ce qui signifie qu'il faut être clair sur le problème à résoudre et s'assurer qu'il s'agit bien de la source de préoccupations, et que

Figure 2. Communication sur les risques et cadre générique de gestion des risques

Source: FAO, 2006



50

tout le monde s'accorde sur la façon de mener l'évaluation, sur les données à utiliser et sur la façon de les interpréter.

Le rapport de la Commission présidentielle des États-Unis de 1997 sur l'évaluation des risques et leur gestion, *Framework for environmental health risk management*, aborde la participation des parties prenantes. Le cadre proposé pour la gestion des risques place les acteurs au centre du processus décisionnel, prônant leur participation à chaque étape du processus. Ce cadre de gestion des risques a été conçu pour être vaste, pour répondre à une série de types de danger et pour mettre en œuvre un processus itératif qui revisite le problème et les options de gestion des risques.

Le cadre de la Commission présidentielle reconnaît le rôle de l'incertitude dans l'évaluation des risques. «Les évaluateurs des risques doivent recourir à une combinaison d'informations scientifiques et au meilleur jugement» (Commission, 1997). L'incertitude



est un attribut essentiel du risque. S'il existait des certitudes à propos des impacts d'une substance ou d'une technologie donnée, il serait possible de mener une évaluation de la sécurité et d'établir un niveau définitif de sécurité. Néanmoins, s'agissant de nouveaux matériaux, il est rare de comprendre toutes les relations entre l'exposition et les effets, et des suppositions sont faites pour pallier l'incertitude inhérente. C'est l'une des principales raisons pour impliquer des parties prenantes aux décisions afférentes à la gestion des risques. Il faut prendre en considération les valeurs et les préférences des acteurs au moment de décider de la façon de gérer les risques en présence d'incertitude.

L'initiative «Safe Foods», coordonnée par les Pays-Bas et financée par l'Union européenne au titre du sixième programme-cadre de recherche, encourage la sécurité sanitaire des aliments grâce à une nouvelle approche intégrée d'analyse des risques des aliments qui modifie la portée de la prise de décisions en matière de sécurité sanitaire des aliments, ne se concentrant plus uniquement sur les risques simples, mais également sur les aliments en tant que sources de risques, d'avantages et de coûts liés à leur production et leur consommation, et tenant compte du contexte social dans lequel les décisions sont prises.

Récemment, un rapport, *Risk governance of nanotechnology applications in food and cosmetics*, IRGC, 2008), a souligné l'importance de la participation des parties prenantes au moment d'aborder des thèmes fondamentaux comme la mise au point de la terminologie et des réglementations, notamment en raison du manque de confiance envers l'industrie et le gouvernement, afin de protéger la santé publique et l'environnement.

Le Conseil international sur la gouvernance des risques (IRGC), dont le siège est en Suisse, aborde les problèmes de gestion des risques que soulèvent les nouvelles questions de risque. L'IRGC a publié un cadre de gestion des risques (IRGC, 2005) qui a été appliqué à la nanotechnologie en général et qui a servi de cadre pour les problèmes liés à la nanotechnologie dans l'alimentation et les produits de beauté. La principale contribution du cadre de l'IRGC est l'inclusion du contexte sociétal dans l'évaluation des risques et dans leur gestion. Dans son cadre de gestion, l'IRGC accorde autant d'importance à la dimension sociétale de la gestion des risques qu'à d'autres éléments dans un modèle de gouvernance, reconnaissant ainsi que certains risques liés à la société sont plus complexes et suscitent davantage d'intérêts. L'une des principales innovations du cadre de l'IRGC réside dans sa façon de catégoriser les connaissances liées aux risques. Le classement porte sur la complexité, l'incertitude et l'ambiguïté des risques. Le cadre de l'IRGC examine également les compensations risque/risque et risque/avantage, comme le risque de complication d'une opération chirurgicale (ces risques pourraient ou pas être compensés par les avantages d'une intervention).

L'IRGC a appliqué ce cadre à la nanotechnologie, décrivant quatre générations de nanotechnologie et leurs différences en termes de complexité, d'incertitude et d'ambiguïté (IRGC, 2006). La première génération de nanostructures passives représente ces matériaux qui existent ou sont aujourd'hui en cours de développement. La deuxième englobe des nanostructures actives, comme des emballages intelligents ou des systèmes de distribution ciblée de médicaments. La troisième (structures capables d'autoassemblage)

et la quatrième générations (fabrication moléculaire) sont à venir. Au-delà de la première génération de matériaux actuellement appliqués dans les nanotechnologies (généralement des particules passives à l'échelle nanométrique ou des substances et des structures créées à l'échelle nanométrique, comme l'argent ou l'or qui sont plus petits que des particules plus grandes, mais qui restent en général comme ils ont été fabriqués), la complexité, l'incertitude et l'ambiguïté augmentent et il faut adapter les modèles de gestion des risques (IRGC, 2006).

En 2008, l'IRGC a examiné la question des nanotechnologies dans les aliments et les produits de beauté. Son rapport souligne la complexité de la question de la terminologie. «La question de déterminer ce que l'on entend par nanotechnologies et nanomatériaux, surtout dans l'alimentation et les produits de beauté, reste l'un des principaux sujets de controverse entre les autorités publiques, l'industrie, les scientifiques, les consommateurs, les groupements écologistes et les médias.» L'une des principales conclusions est que la communication sur les risques des nanotechnologies et des nanomatériaux est gênée par le manque de consensus à propos des définitions, ce qui pourrait mener à de la désinformation et des incohérences. De plus, l'absence d'informations avérées sur les applications utilisant des nanomatériaux et des nanotechnologies dans les aliments, les emballages alimentaires et l'agriculture a mené à des discussions spéculatives sur l'utilisation et les risques potentiels. Les auteurs ont souligné le besoin de mener «un dialogue équilibré et concerté» entre les parties prenantes des secteurs privé, civil et public aux niveaux international, régional et local pour répondre au besoin urgent en communication proactive sur les risques au vu de la sensibilité de la situation. Le faible niveau de compréhension du public, associé à l'exposition directe aux nanotechnologies présentes dans les aliments (c'est-à-dire ingérées par les personnes), le sentiment d'un contrôle réglementaire inapproprié et le faible niveau de confiance à l'égard de l'industrie engendrent une situation explosive qui mérite une évaluation des préoccupations – analyses des associations et des conséquences envisagées (avantages et risques) par les parties prenantes, les individus, les groupes ou les différentes cultures – pour alimenter les futures caractérisations et évaluation des risques.

Modèles de participation des parties prenantes

La communication sur les risques peut revêtir diverses formes. Il peut, par exemple, notamment s'agir d'informations présentées par écrit ou sous forme de média visuel, lors de forums interactifs avec des experts et des parties prenantes, d'audiences publiques sur des décisions réglementaires et d'autres méthodes de participation du public. L'information, les négociations et les délibérations entrent dans le cadre de la communication sur les risques. Les stratégies de communication sur les risques varieront en fonction des contextes culturels et politiques, des organisations responsables ou hôtes, des ressources disponibles et des objectifs. En cas de fortes incertitudes ou ambiguïté, avec d'importantes conséquences pour les parties prenantes, les cadres d'analyse des risques ont mis en exergue la communication et l'apprentissage bidirectionnels grâce à des modèles engagés de communication (IRGC, 2006; NRC, 1996).



Rowe et Frewer (2000) ont sommairement revu des modèles plus participatifs comme des conférences de concertation, des jurys de citoyens et des groupes spécialisés, et les ont évalués par rapport à deux séries de critères: l'acceptation et le processus. Le «critère d'acceptation» reprend la représentativité des participants, leur indépendance, la planification de l'implication, les possibilités d'influencer la décision finale ou les politiques et la transparence du processus pour le public. Le «critère du processus» inclut la disponibilité des moyens, la définition des tâches et la rentabilité. Les organismes chargés d'accueillir ou d'entamer des activités de communication sur les risques devront analyser la panoplie de méthodes et déterminer le critère le plus important pour eux et les parties prenantes avec lesquelles ils s'associent. Il n'existe pas de modèle unique pour la communication sur les risques liés aux nanotechnologies dans l'agriculture et l'alimentation.

Il est important de définir clairement dès le départ et à tous les participants, la nature, la portée, les procédures et les résultats attendus de la communication sur les risques. L'efficacité et la crédibilité du processus ne s'en trouveront qu'améliorer. Il faut admettre qu'un critère d'une telle rigidité peut être trop contraignant et manquer de souplesse si de nouvelles informations pouvant mener à une remise en cause étaient présentées. Il pourrait donc s'avérer nécessaire d'expliquer le cadre de référence dans lequel un exercice doit être mené en cas de nouvelles informations importantes (Rowe et Frewer, 2000).

53

Une participation efficace du public requiert une planification correcte et des moyens appropriés afin de s'assurer une large participation et des résultats dignes d'intérêt. Il est essentiel de prévoir des mécanismes officiels pour s'informer des préoccupations et des autres exigences, et d'y répondre. La prise de contact et les communications doivent prévoir une composante éducative pour veiller à ce que tous les participants soient informés des questions techniques, réglementaires et sociétales d'une façon générale.

Il reste néanmoins essentiel qu'il existe des mécanismes d'intégration des points soulevés par les participants et qu'ils soient suivis. Tous les participants devraient comprendre la façon dont leurs commentaires seront pris en considération, l'objectif de leur participation et le processus en général. D'autres modèles prévoient différents niveaux de participation active et d'intégration des suggestions. Les responsables devront sérieusement examiner la communication au moment de prendre une décision. Les modèles de participation peuvent fluctuer de l'information à l'éducation, aux négociations et aux délibérations, etc.

Maintenant que les conditions théoriques ont été posées, passons à une étude des dialogues existants. L'examen de l'Annexe 6, reprenant une liste des échanges connus des auteurs, fournit une série d'enseignements qui peuvent être résumés comme suit:

- La plupart des échanges ont lieu dans le cadre de projets de recherche financés par des autorités nationales ou supranationales (par exemple, l'Union européenne).
- En conséquence, les dialogues ne durent que le temps du financement de la phase de recherche-développement. Il n'existe donc pas d'échanges continus. Il existe des exceptions notables comme le dialogue international, épisodique, mais continu,

entre l'Union européenne et les États-Unis sur la recherche et le développement responsables des nanotechnologies et les ateliers connexes thématiques du Meridian Institute, financés par la NSF (États-Unis) et les ateliers annuels sur les nanotechnologies financés par l'Union européenne (Safety for Success Dialogues).

- En fait, après une première vague de dialogue, la deuxième semble plus petite.
- Les échanges se font principalement entre universitaires. Les autorités publiques qui financent les projets tirent la plupart de leurs informations de rapports.

Cela termine le chapitre consacré au dialogue et à la communication. Le tableau de l'Annexe 7 reprend les sujets et les processus des dialogues entre deux parties prenantes. Il met en lumière les différents besoins en communication et en informations des «émetteurs» et des «receveurs». Il montre également les différents modes (formels et informels) de communication et leurs différentes natures (constraining et non constraining, volontaires et obligatoires).

54

Apports en amont pour les stratégies de recherche et le classement du financement de la recherche-développement/évaluation des risques

Les parties prenantes peuvent intervenir à différents niveaux géographiques (poste-à-poste, local, régional, national et international) et à différents moments (développement technologique, autorisation de mise sur le marché et après la commercialisation) pour apporter une contribution aux données et aux recherches nécessaires à l'évaluation des risques et à sa priorisation dans le cadre du développement du produit. Des chercheurs ont demandé l'intervention du public en amont pour qu'il participe aux débats sur les nouveaux produits technologiques et priorités de recherche bien avant leur entrée sur le marché (Wilsdon et Willis, 2004). La participation du public en amont peut être complétée par de nombreuses autres activités, dont l'évaluation technologique en temps réel, lorsque les ingénieurs et les scientifiques envisagent les conséquences sociales de leur travail aux côtés des parties prenantes avant le développement des produits (Guston et Sarewitz, 2002). Du reste, une évaluation de la surveillance en amont a été appliquée lors d'études de cas portant sur la nanotechnologie dans l'agriculture et l'alimentation (Kuzma *et al.*, 2008). Il s'agit d'un outil de préparation pour les groupes d'experts et de parties prenantes qui examinent les caractéristiques techniques des projets de recherche-développement, les risques et les avantages potentiels si des produits commerciaux devaient effectivement voir le jour grâce aux activités de recherche-développement, et d'identification des besoins en données pour aborder les risques et les avantages bien avant que le produit n'accède au marché (Kuzma *et al.*, 2008).

Récemment, des ONG de défense de l'environnement et des consommateurs, des universitaires et des groupes de réflexion ont soulevé des questions à propos de l'ampleur du financement consacré à la recherche sur la sécurité sanitaire et environnementale relative au développement technologique. Selon des estimations, aux États-Unis, environ 1 pour cent des fonds fédéraux pour les nanotechnologies sont consacrés aux activités de sécurité sanitaire et environnementale (Maynard, 2006). Ouvrir la hiérarchisation des



priorités de recherche-développement au débat public peut aider à remédier aux «échecs dans le public» des nouvelles technologies. Pour Bozeman et Sarewitz (2005), trop d'attention a été portée à éviter les «échecs sur le marché» lors des prises de décisions portant sur la science et la technologie. Pour eux, les «échecs dans le public» sont tout aussi importants et peuvent survenir, qu'il y ait ou pas eu d'échecs commerciaux. La participation du public à la mise en place d'un portefeuille de recherche-développement équilibré pour les nanotechnologies dans l'agriculture et l'alimentation, qui inclut des données pour pallier des incertitudes dans l'évaluation des risques, peut non seulement améliorer l'évaluation des risques, mais également aider à diminuer le risque d'un échec dans le public.

Il sera essentiel au succès d'une stratégie de recherche dans le domaine des nanomatériaux de se pencher sur les principaux intérêts, priorités et préoccupations des parties prenantes et de veiller à ce que la recherche parrainée se penche sur les voies et les risques potentiels. Certaines ONG, parmi d'autres, ont discuté de l'importance d'une participation plus vaste des parties prenantes dans les premières décisions sur les nanotechnologies. Par exemple, les Amis de la Terre réclament la participation du public à tous les aspects de la prise de décisions à propos des nanotechnologies dans l'alimentation et l'agriculture, y compris la hiérarchisation des priorités de financement pour la recherche (Amis de la Terre, 2008).

Transparence

Certains membres du public ont assez peu confiance dans les efforts de l'industrie et des autorités pour évaluer et gérer correctement les risques, comme le montre le débat sur les aliments génétiquement modifiés. Des petites actions involontaires peuvent être mal interprétées. En particulier, certaines parties prenantes ont le sentiment très net que le public devrait avoir accès à toutes les données, que leur confidentialité est suspecte et qu'il doit y avoir une raison pour les garder secrètes. Cela peut poser des problèmes aux industries qui cherchent à protéger la propriété intellectuelle et cela a été invoqué pour expliquer la faible participation à plusieurs appels volontaires de données de la part d'autorités nationales et régionales.

Le peu de confiance accentue le besoin de transparence dans la gestion. Il y a peu, une coalition de plus de 40 ONG et d'organisations de travailleurs ont appelé à la transparence de sorte que le public puisse être tenu au courant des produits dans lesquels la nanotechnologie est utilisée (étiquetage), à une communication de l'information et à des mesures de protection sur les lieux de travail, et à la diffusion dans le public de toutes les données utilisées pour prendre des décisions en matière de sécurité (Acción Ecológica *et al.*, 2007).

La confiance des consommateurs est actuellement faible. Améliorer la transparence dans la gestion en général et plus spécifiquement, donner la possibilité au public de consulter les évaluations de la sécurité aideraient à accroître la confiance. Même si le public décide de ne pas tirer profit de sa possibilité de surveillance, l'existence du droit de le faire rassure. Cette mesure permettrait de directement rehausser la confiance du

consommateur. Heureusement, certains pays peuvent être cités en exemples en rendant toutes les informations sur la sécurité disponibles sur internet tout en protégeant la confidentialité des informations commerciales des parrains de l'étude. Ce genre d'approches est qualifié de meilleure pratique.

Intérêts et préoccupations de citoyens indépendants

En raison du temps et des moyens qu'ils impliquent, les échanges entre parties prenantes se font entre professionnels. Ces derniers agiront en tant que représentants des autorités publiques, d'industries ou du public. Pourtant, une analyse qui se veut complète doit envisager les intérêts et les préoccupations des citoyens indépendants qui, comme le consacre l'expression, «votent avec leur portefeuille» et peuvent représenter un large éventail de points de vue et dont les opinions peuvent être très changeantes.

Les intérêts et les préoccupations de ces citoyens indépendants influenceront directement la façon dont les risques sont socialement construits. Il est utile de rappeler qu'il convient d'analyser les risques non seulement d'un point de vue scientifique ou technologique, mais aussi d'en examiner les aspects psychologiques et sociologiques comme l'a souligné la FAO dans son *Analyse des risques relatifs à la sécurité sanitaire des aliments* (Encadré 2.1, page 16).

Face à des tâches cognitives complexes et au manque d'informations, les individus ont recours à des connaissances heuristiques et à d'autres facteurs comme leurs influences sociales et culturelles, pour porter un jugement à propos des informations qu'ils reçoivent. À ce titre, les parties prenantes concernées ou touchées par les risques doivent absolument tenir compte de la façon dont les risques sont présentés et discutés. La perception qu'a le public des dangers et des risques est influencée par la manière dont différentes sources les communiquent. Le cadre d'amplification sociale du risque (Kaspelson *et al.*, 1988) explique, du moins en partie, les façons dont les risques découlant de certains dangers à faible probabilité de dommages sont amplifiés par l'effet de ricochet des communications publiques (Breakwell *et al.*, 2001; Pidgeon *et al.*, 2003). Pourtant bien établis pour de nombreux dangers, les nouveaux modes de communication comme les blogs, Twitter, etc. peuvent modifier la nature de l'amplification du risque.

Finucane *et al.* (2000) ont démontré que les personnes se fient à l'affect au moment de jauger les risques et les effets positifs. C'est-à-dire que si les risques et les effets positifs sont en général positivement liés, leur perception respective a tendance à générer une corrélation négative. Lors de deux études liées, on a pu démontrer que les participants s'étaient fîs à leur affect pour déterminer leur position face à un danger précis afin de classer les risques ou les avantages d'objets allant de vélos à des conservateurs alimentaires. Que les réponses aient dû être données dans un délai serré ou non, elles ont démontré des corrélations négatives et ce, d'autant plus lorsque les participants avaient peu de temps à laisser aux connaissances et devaient alors davantage se fier à l'affect. Donc, la perception qu'ont les personnes de technologies données, au-delà de leurs connaissances, peut être la base de leur perception des risques et des effets positifs associés aux dangers. Le rôle de l'affect dans la perception suggère que la recherche de modèles mentaux devrait aider à encadrer les communications.



Néanmoins, la plupart des études utilisent, pour l'heure, des méthodes traditionnelles d'inventaire.

Études sur la perception des consommateurs

Les expériences passées suggèrent que des inquiétudes non apaisées du public peuvent évoluer en craintes envers de nouvelles technologies. Il convient donc de tenir compte des attitudes des citoyens envers les nanotechnologies dans l'alimentation dès le début de l'élaboration d'un produit (Siegrist *et al.*, 2007). Il est essentiel de comprendre la dynamique de la perception du public afin d'anticiper les préoccupations à propos de l'utilisation de la nanotechnologie dans les aliments et d'y répondre.

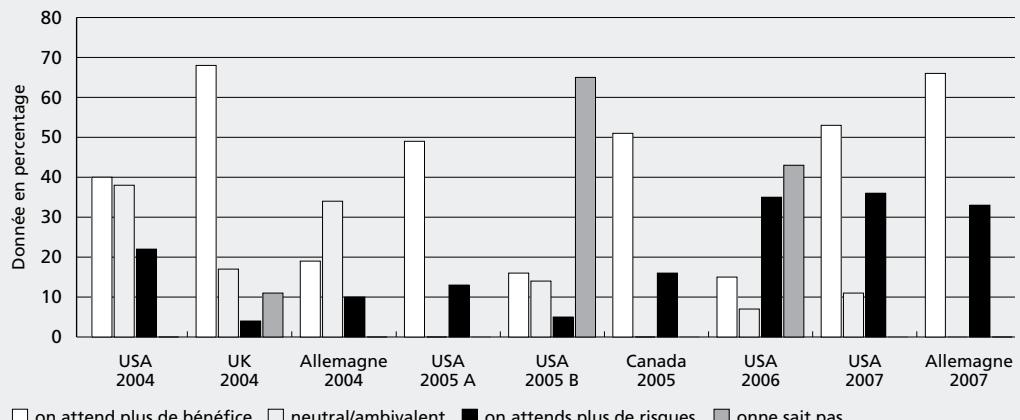
Plusieurs études se sont penchées sur les perceptions qu'avaient les consommateurs de la nanotechnologie et certaines ont spécifiquement porté sur l'utilisation des nanotechnologies dans l'alimentation et les emballages alimentaires. La plupart de ces enquêtes ont été menées en Amérique du Nord et en Europe et quelques-unes font des comparaisons interculturelles. Les études tentaient de déterminer si le public connaissait le terme «nanotechnologie», s'il pensait que les nanotechnologies comporteraient des avantages pour la société ou si les risques ou les avantages se compensaient. Certaines ont examiné les réactions face à des applications précises. En général, les enquêtes ont révélé un niveau relativement faible de connaissances et une position positive ou neutre à propos des avantages et des risques relatifs des nanotechnologies. Néanmoins, des études menées en Europe ont montré que les attitudes tendaient à être plus négatives (BfR, 2006; Gavelin *et al.*, 2007; Hanssen et van Est, 2004; Kleinmann et Powell, 2005; Nano Jury UK, 2005; Siegrist *et al.* 2007; Swiss, 2006). Grobe et ses collègues ont expliqué cette position par le fait que toute altération d'un aliment «est perçue comme une altération de la nature» (IRGC, 2008).

Plusieurs études ont analysé les premières positions à l'égard de la nanotechnologie et certaines ont évalué les changements après avoir fourni une définition et des exemples d'application (Bainbridge 2002; Currall *et al.* 2006; Hart Research Associates 2006; 2007; Kahan 2007; 2008; Macoubrie 2005; Priest 2006). En Amérique du Nord, l'impression des participants était que les avantages des nanotechnologies allaient l'emporter sur les risques. Il a été établi que des impressions présentes relatives à des technologies familiaires influençaient les perceptions des innovations et la fourniture d'informations de base sur les nanotechnologies augmentait considérablement le pourcentage de personnes pour qui les avantages l'emportent sur les risques. Toutefois, Kahan *et al.* (2007) ont remarqué que «les personnes qui sont déjà prédisposées à apprécier les nanotechnologies (plus que probablement en raison de leurs valeurs ou de leurs émotions) ont jusqu'à présent été plus enclines à en apprendre davantage à leur sujet plutôt que celles qui étaient prédisposées à ne pas les apprécier». Il est donc probable qu'une éducation du public conduise à une compréhension commune plus vaste des applications des nanotechnologies, mais pas nécessairement à des impressions plus favorables.

La Figure 3 résume les résultats des neuf études qui ont évalué les perceptions des consommateurs des risques et des avantages de la nanotechnologie (IRGC, 2008).

Figure 3. Attentes à propos des avantages et des risques des nanotechnologies

Source: IRGC, 2008



58

Ils reflètent en général une opinion positive, mais changeante, sur la nanotechnologie. Il semble que la confiance soit limitée à propos de la capacité des gouvernements ou de l'industrie à répondre correctement aux risques sanitaires et environnementaux (IRGC, 2008).

Une mise en garde concernant diverses études de l'attitude du consommateur est la limitation de la méthode d'enquête par internet. Les personnes recrutées par des enquêtes sur le web sont plus éduquées et mieux informées sur la science que la moyenne (Bainbridge, 2002). La plus importante des limitations des recherches actuelles est que la plupart des études n'ont examiné que des attitudes à l'égard des nanotechnologies en général sans se pencher sur les impressions que laissent des produits potentiels (Siegrist *et al.*, 2007). Seules quelques enquêtes ont évalué la perception publique d'applications dans l'alimentation et l'agriculture. Néanmoins, plusieurs chercheurs ont posé des questions visant à comprendre l'attitude du public vis-à-vis de la nanotechnologie dans l'alimentation et les emballages alimentaires.

Le projet sur les nouvelles nanotechnologies, mené en collaboration avec une association de consommateurs, a mis un point un dialogue sur le web accessible au public pour discuter des informations et partager des opinions sur l'utilisation et les avantages et risques potentiels de produits de consommation ayant recours aux nanomatériaux (Consumers Talk Nano Dialogue, 2007). Selon les participants, l'utilisation de la nanotechnologie pour accroître la production alimentaire soulève des questions de sécurité et d'éthique, les applications alimentaires de la nanotechnologie doivent être correctement réglementées et étiquetées, et le développement d'applications doit pour le moment se faire avec précaution. De telles études suggèrent que le public désire davantage d'informations sur les risques et les avantages pour la santé avant de décider d'acheter ces produits. Il existe également des inquiétudes concernant une surveillance



appropriée, des conséquences involontaires, des effets à long terme et des risques sanitaires incertains (IRGC, 2008).

Hamilton, *et al.* (2007; 2008) ont mené des recherches sur la façon dont le public comprend et perçoit l'évolution des nanotechnologies. Les personnes peu familières des nanotechnologies se polarisent autour d'intérêts culturels lorsqu'elles reçoivent les mêmes informations équilibrées et fiables, suggérant que les individus ont tendance à tirer des conclusions des informations reçues qui correspondent à leurs préjugés culturels. Siegrist *et al.* (2007) ont mené une étude qui suggère que les emballages améliorés par la nanotechnologie étaient pressentis comme plus bénéfiques que d'autres applications de nanotechnologie.

D'autres initiatives pour évaluer l'opinion publique en Europe ont mené des études et organisé des groupes de réflexion (Burri et Belluci, 2008; Royal Society, 2004). En général, elles ont établi que la population examine minutieusement les avantages et les risques possibles au moment de se forger une opinion et qu'il semble que la nanotechnologie comporte des avantages tangibles qui apportent des solutions aux besoins de la société. Dans une étude comparative, Gaskell *et al.* (2005) ont conclu que les Américains semblaient plus optimistes que les Européens en matière de nanotechnologies puisque près de la moitié d'entre eux pensaient que ces technologies amélioreront leur qualité de vie, alors que seul un quart des Européens partageaient cet optimisme.

Une recherche au Japon a montré que la population était généralement plus familière avec les nanotechnologies et les acceptait mieux, mais que cela était moins vrai lorsqu'il s'agissait de les appliquer aux aliments et aux boissons (Fujita, 2006; Kishimoto 2007; 2008). Maclurcan (2008) a interrogé des personnes sélectionnées en Thaïlande et en Australie. La plupart d'entre elles pensaient que la nanotechnologie était un nouveau nom pour des activités préalablement menées en chimie colloïdale, en recherches pharmaceutiques et en sciences des matériaux. Les personnes interrogées étaient préoccupées par le fait que les politiques gouvernementales pourraient davantage s'intéresser aux applications futures à long terme qu'aux développements à court terme.

Dans une étude générale sur les perceptions du public des nanotechnologies, Macoubrie (2005) a évalué l'intérêt envers les effets positifs des nanotechnologies et a découvert que des exemples d'applications dans l'alimentation et l'agriculture laissaient des impressions à la fois positives et négatives. Siegrist *et al.* (2007) et Priest (2006) ont observé qu'il est important de communiquer les avantages pour une meilleure acceptation. Kishimoto (2007) a évalué les bénéfices et les risques perçus de la nanotechnologie dans les produits de beauté, les aliments et les boissons, les appareils électroménagers et les médicaments auprès de citoyens japonais et a montré un intérêt moindre à acheter des boissons et des aliments contenant des nanotechnologies que d'autres applications. Un autre thème important qui ressort des publications existantes est que les personnes semblent différencier les applications potentielles des nanotechnologies en fonction de la façon et du lieu où elles sont utilisées. Siegrist *et al.* (2007) confirment que les «éléments contenant en interne de la nanotechnologie

(par exemple, des aliments) sont perçus comme moins acceptables que ceux qui en contiennent à l'extérieur (par exemple, les emballages»). Lors d'une étude qualitative auprès de consommateurs suisses, Burri et Bellucci (2008) ont été confrontés à des craintes que les nanoparticules causent des dommages dans le corps s'ils étaient intégrés aux aliments. L'étude de la Royal Society (2004) a prouvé que: «les applications qui restent à la surface du corps, comme des filtres solaires, donnaient le sentiment de ne pas comporter le même niveau de risques même si les personnes interrogées exprimaient quand même des inquiétudes à leur propos».

Les attitudes des consommateurs envers les applications des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture sont complexes. Les consommateurs veulent en comprendre les risques et les avantages potentiels, et souhaitent obtenir des avantages tangibles. En l'absence d'avantages manifestes, il y a peu de chances que les consommateurs aient une impression positive, en encore moins une volonté d'acheter, des produits alimentaires améliorés par les nanotechnologies. Même si les risques perçus sont faibles, les consommateurs pourraient continuer de refuser d'acheter des produits alimentaires améliorés par les nanotechnologies.

60

Réunion d'experts FAO/OMS sur l'application des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture: incidences possibles sur la sécurité alimentaire

Organisations partenaires

Comme nous l'avons annoncé dans l'introduction, la définition des acteurs est vaste de façon à y inclure des organisations et des personnes qui sont touchées par l'introduction de la nanotechnologie et de matériaux à l'échelle nanométrique dans les secteurs alimentaire et agricole. Une participation efficace se doit d'identifier correctement et d'impliquer ces parties prenantes, ou des acteurs exclus pourraient menacer le processus. On retrouve dans les catégories de parties prenantes des citoyens et des membres du public qui deviendront des décideurs de l'adoption et de l'intégration de ces matériaux et processus dans la chaîne alimentaire. Les organisations partenaires incluent plusieurs types d'organisations militantes, y compris de défense de l'environnement et des consommateurs, des scientifiques, des groupes de réflexion et des groupes des politiques scientifiques, des organisations industrielles et commerciales et des syndicats. Les organisations gouvernementales représentent également des acteurs importants puisque les décisions d'une entité peuvent en toucher bien d'autres aux niveaux international, national, régional et local.

Organisations non gouvernementales de défense de l'environnement et des consommateurs

Un récent rapport a souligné la diversité des ONG environnementales au niveau de leur niveau et de leur type d'engagement, expliquant ces différences comme des «nuances de vert» (Hoffman, 2009). Dans le domaine des nanotechnologies, les nuances des ONG impliquées sont multiples. Leurs activités incluent des protestations, des pétitions auprès des autorités, des rapports détaillés, des revendications publiques, des participations à des réunions et des audiences publiques et des partenariats industriels. Certaines emploient des scientifiques et publient des rapports s'appuyant sur des arguments scientifiques pour



**Tableau 4. Liste partielle
des activités et rapports militants**

GETC Group	<i>Down on the farm: the impact of nano-scale technologies on food and agriculture</i> (2004)
International Center for Technology Assessment (ICTA), Amis de la Terre (FoE) et coalition de groupes	Pétition citoyenne déposée auprès de la Food and Drug Administration (FDA) à propos des filtres solaires (mai 2006)
45 ONG – coalition internationale	<i>Joint statement of principles for the oversight of nanotechnologies and nanomaterials</i> (2007)
Environmental Defense Fund et DuPont	<i>Nano risk framework</i> (juillet 2007)
Natural Resources Defense Council (NRDC)	EHS nanotechnology framework (mai 2007)
The Soil Association (Royaume-Uni)	Interdiction des nanomatériaux dans les produits de beauté, les aliments et les textiles qui le certifient (janvier 2008)
Amis de la Terre (FoE) Australie	<i>Out of the laboratory and on to our plates: Nanotechnology in food and agriculture</i> (mars 2008)
Coalition menée par l'ICTA	Poursuites à l'encontre de l'APE américain qui n'a pas réglementé le nanoargent (mai 2008)

défendre la santé et la sécurité environnementale et les préoccupations éthiques et sociétales exprimées. Les organisations militantes sont des parties prenantes importantes, car elles représentent des consommateurs, des travailleurs, ou des intérêts environnementaux, agricoles, biologiques ou autres, elles sont souvent solides d'un point de vue financier, s'appuyant sur de nouvelles ou d'anciennes collaborations et usent d'arguments similaires à ceux invoqués pour les aliments génétiquement modifiés. Les organisations militantes sont en général perçues par le public comme des sources d'information dignes de confiance. Vous trouverez une chronologie des activités récentes des organisations militantes internationales et des rapports qu'elles ont publiés.

Il existe des points communs et des divergences entre les questions soulevées par ces organisations et d'autres organisations militantes. Voici quelques points communs soulevés par des ONG à propos des nanotechnologies dans l'alimentation et les applications alimentaires (Lee, 2006; Parr, 2006; Wilsdon, 2006):

Sécurité:

- Besoin de davantage de tests de sécurité et de contrôles réglementaires lors du développement, des essais et des applications des nanomatériaux;
- Prise en considération des conséquences sociétales des nanotechnologies au-delà de la définition étroite de la sécurité normalement appliquée;
- Principe de précaution lorsque les données de sécurité sont insuffisantes.

Transparence:

- Étiquetage des aliments et des produits alimentaires pour s'assurer que les consommateurs ont conscience de la présence de nanomatériaux;
- Disponibilité publique des données des tests de sécurité pour être en mesure de décider en connaissance de cause;
- Visibilité publique des développements nanotechnologiques.

Engagement:

- Possibilités de participation constructives du public et d'ONG dans des décisions concernant la nanotechnologie;
- Équité au niveau de l'accès et des conséquences des nanotechnologies.

D'autres suggestions comprennent une plus grande coopération internationale dans la mise au point et la réglementation des nanotechnologies, la réglementation des nouvelles technologies par une institution des Nations Unies, une réforme du système de propriété intellectuelle concernant la nanotechnologie, un moratoire sur la vente de produits contenant des nanomatériaux, surtout dans l'alimentation et la conception d'équipements pour détecter les nanoparticules.

Analyses des principaux problèmes

Les protagonistes les plus présents pour commenter la nanotechnologie lorsqu'elle est appliquée à l'alimentation et l'agriculture sont les groupes environnementaux, particulièrement ceux avant tout intéressés par les modifications génétiques et l'agriculture biologique (ONG militantes bio), ainsi que celles qui défendent une série de sujets environnementaux (ONG internationales de défense de l'environnement). Avec le temps, les ONG de ces deux catégories ont rallié de nombreux partisans. Les ONG à vocation écologique, qui se concentrent sur des problèmes de toxicologie (ONG militantes s'intéressant aux produits toxiques), forment un groupe légèrement moins important, mais toujours assez fortement représenté au regard du faible nombre absolu de leurs membres. La forte représentation des organisations qui s'intéressent à l'application éthique des sciences et des technologies est également notable (O'Neil et Ackland, 2006).

Une grande partie des protestations à l'encontre des nanotechnologies découlent de la promotion constante de nouvelles applications en dépit d'incertitudes de taille sur l'ampleur ou la gravité de plusieurs conséquences. Il n'est pas évident de déterminer la part d'ONG qui modifieraient leur position sur la nanotechnologie si d'importantes nouvelles informations scientifiques venaient à être communiquées. Entre temps, de nombreuses ONG prônent toujours un moratoire. Il est évident que ces groupes militants, qu'ils défendent les travailleurs, l'environnement ou les consommateurs, partagent tous le souhait de disposer de temps en suffisance pour déterminer les risques avant de s'apercevoir des effets généralisés.

Il est possible de dégager des tendances dans les revendications des ONG en fonction de leur domaine de combat. Par exemple, la revendication la plus commune pour les groupes de défense de consommateurs est un débat public ouvert sur les nanotechnologies, suivie de demandes en faveur d'une réglementation et de tests accrus. (Il est intéressant de noter que ces revendications ne comprennent pas un moratoire). Les exigences des groupes de défense de l'environnement (orientés bio) portent le plus généralement sur un moratoire, suivi d'une réglementation et de l'étiquetage – de fait, ils réclament avant tout plus de précautions avant de s'intéresser à la protection des consommateurs, générant un flux logique d'événements pour protéger les êtres humains. Les ONG à vocation écologique (mondiales) réclament le plus souvent une



réglementation, un débat public et des recherches plus poussées sur les nanotechnologies. Les groupes qui encouragent des sciences et des technologies éthiques revendiquent plus souvent une réglementation et un moratoire. Ils ont toutefois également avancé une série d'autres suggestions.

Le dénominateur commun à presque tous les ONG militantes semble être la nécessité de mener une discussion en vue de déterminer les interventions de politique générale nécessaires concernant l'introduction de particules et de processus nanomanufacturés dans des produits commerciaux tant que les menaces potentielles pour la sécurité ne pourront être mesurées et évaluées comme il conviendra. Ces groupes ont presque tous exprimé le souhait que l'industrie et les gouvernements mettent en œuvre des mesures pour protéger la santé et la sécurité des employés et du public des conséquences d'une dispersion non réglementée dans l'environnement de nanoproduits commerciaux.

63

Industries

Les ONG industrielles, ou les «associations professionnelles» comme on les appelle plus souvent, servent en général d'interlocutrices lors d'échanges entre les autorités publiques et l'industrie, ou entre les organisations de consommateurs, les ONG environnementales et l'industrie. Elles offrent un point de contact unique, fournissent des prises de position représentant les points de vue des industries – surtout sur les réglementations existantes ou proposées, peuvent servir de groupes de réflexion ou de coordinatrices de projets que les industries ne peuvent mener seules, y compris répondre à des appels d'informations volontaires et plus généralement, fournissent un moyen à l'industrie de s'exprimer sans mettre en péril l'image d'une entreprise en particulier. Parmi les associations professionnelles du secteur de l'alimentation, citons la Confédération des industries agroalimentaires de l'UE (CIAA), l'Association européenne de l'industrie alimentaire et des boissons (Union européenne), la Groceries Manufacturers Association (États-Unis), l'AFGC (Australie) et le Food Industry Center (Japon).

Gouvernements

Les autorités publiques sont des parties prenantes importantes dans ce contexte. C'est en effet au gouvernement que revient la responsabilité finale de protéger la sécurité et le bien-être des consommateurs, l'environnement et d'autres intérêts communs du public. Ils jouent également un rôle essentiel en prévoyant et en menant les progrès de la science et de la technologie en vue de soutenir le développement économique et la gestion des ressources. C'est la raison pour laquelle, les autorités publiques doivent soutenir et surveiller le développement et le déploiement responsables de nouvelles technologies.

Il convient de reconnaître les rôles différents des diverses composantes des autorités publiques, comme les corps législatif et exécutif. Le principe de l'équilibre des pouvoirs est là pour garantir que les intérêts et les préoccupations de toutes les autres parties prenantes sont écoutés et pris en considération au moment de concevoir et de mettre en œuvre des politiques. De la même manière, les différents niveaux des gouvernements – national, provincial et local – ont également des responsabilités à l'égard de leurs

électeurs, dont des citoyens privés, et du développement économique dans leur domaine respectif. De plus, des organisations gouvernementales internationales comme la FAO, l'OCDE¹⁰ et l'OMS, et des entités gouvernementales supranationales comme l'Union européenne se sont servies de leurs moyens et instruments respectifs pour protéger les intérêts de leurs pays membres. Il est de la plus haute importance qu'il règne une coordination et une coopération efficaces pour permettre la communication des avantages et des risques au sein de ces entités gouvernementales, et encourager et soutenir de véritables politiques et pratiques pour contrôler les progrès de la nanotechnologie dans l'agriculture et l'alimentation tout en veillant à l'utilisation en toute sécurité des nouvelles technologies.

Plusieurs études ont évalué la pertinence et la validité des cadres réglementaires existants pour identifier les déficiences et les insuffisances potentielles au regard des risques possibles découlant de l'utilisation des nanotechnologies dans les secteurs alimentaires et agricoles.

Dans de nombreux cas, l'évaluation avant la commercialisation de produits alimentaires sera pertinente pour les applications des nanotechnologies. Citons, par exemple, la législation horizontale, comme les lois générales sur la sécurité sanitaire des aliments et sur la sécurité chimique. D'autres réglementations verticales existent également, comme celles concernant les additifs alimentaires, les nouveaux aliments, les allégations relatives à la santé, les matériaux en contact avec les aliments, la qualité de l'eau et d'autres réglementations spécifiques ayant trait à l'utilisation de certains produits chimiques comme les biocides, les pesticides, les médicaments vétérinaires, etc. D'autres réglementations environnementales peuvent également porter sur la présence involontaire ou accidentelle de nanomatériaux manufacturés dans des produits agroalimentaires. Des instruments identiques existent au sein du Codex Alimentarius, comme des codes de pratiques d'hygiène, des dispositions sur les additifs alimentaires, des limites maximales en résidus pour les pesticides et les médicaments vétérinaires, des allégations relatives à la santé, des directives, etc.

Les conclusions de la réunion conjointe d'experts FAO/OMS sur l'application des nanotechnologies dans les domaines de l'alimentation et de l'agriculture pourraient être utilisées pour identifier les besoins d'inclure des dispositions réglementaires précises dans le Codex Alimentarius.

Sciences, politiques scientifiques, groupes de réflexion et organisations professionnelles

Ce groupe de parties prenantes comprend des organisations fortement indépendantes et qui disposent de connaissances techniques dans les domaines liés aux sciences et à la technologie. Bon nombre de ces entités s'appuient sur les conseils de comités d'experts et pourraient fournir un lieu de rencontres où des citoyens et des acteurs peuvent participer

¹⁰ Programme de l'OCDE sur la sécurité des nanomatériaux manufacturés: http://www.oecd.org/department/0,3355,fr_2649_37015404_1_1_1_1,00.html

Programme de l'OCDE sur les politiques scientifiques et technologiques en nanotechnologie: <http://www.oecd.org/sti/nano>



à une communication bilatérale en présence d'experts sur les risques et les avantages liés à l'application de la nanotechnologie dans l'agriculture et l'alimentation.

La Royal Society (Royaume-Uni) et les National Academies (États-Unis) ont joué des rôles de premier plan dans l'analyse du financement et dans les questions de politiques ayant trait aux nanotechnologies (NRC 2006; 2008; Royal Society, 2004). D'autres académies des sciences dans le monde, comme la Third World Academy of Sciences, pourraient être des sources précieuses d'informations sur les risques et pourraient soutenir des dialogues dans les pays en développement.

Les musées scientifiques sont un autre lieu de rencontre des experts avec les parties prenantes et le public. Aux États-Unis, le Nanoscale Informal Science Education Network (NISEnet), un réseau de plusieurs musées scientifiques du pays, a fait participer des citoyens à des débats publics. Ces événements comprenaient des discussions sur les applications, sur les risques et les avantages potentiels liés aux nanotechnologies, et sur les valeurs et la prise de décisions relatives aux produits de la nanotechnologie (NISEnet, 2009).

Des groupes de réflexion et des organisations professionnelles ont également un rôle essentiel à jouer. En 2008, la Society for Risk Analysis, une société internationale, a organisé une réunion spéciale sur l'analyse des risques de la nanotechnologie et elle continue de soutenir le dialogue sur les méthodes et les besoins en matière d'évaluation des risques. Les groupes de réflexion peuvent être une source essentielle d'informations sur les risques et offre un terrain indépendant pour le débat public. Le Foresight Institute, Project on Emerging Nanotechnologies (États-Unis), le Nanotechnology Think Tank (Pays-Bas), l'Innovation Society (Suisse), l'International Risk Governance Council, et le Meridian Institute sont autant d'exemples d'organisations actives qui fournissent des rapports et qui dialoguent sur les problèmes de risques entourant les nanomatériaux manufacturés.

En résumé, cette catégorie de parties prenantes n'a pas qu'un rôle participatif important à jouer, mais est également tenue d'organiser et de fournir des informations équilibrées sur les risques, les avantages et les valeurs de la société liés aux nanomatériaux manufacturés.

Théories sur la perception des risques

Il existe différentes théories sur la façon dont les personnes perçoivent les risques et les dangers, et il est intéressant de les examiner au moment de décider des modèles de communication lors de l'évaluation des risques de la nanotechnologie et des nanomatériaux dans l'alimentation et l'agriculture. Le tableau ci-dessous et les paragraphes qui suivent reprennent quelques-unes des nombreuses théories qui cherchent à expliquer pourquoi certains types de dangers soulèvent davantage d'inquiétudes chez les parties prenantes que les scientifiques ou les responsables ne l'avaient envisagé sur base de probabilités. Cette analyse est loin d'être exhaustive et il pourrait être utile d'examiner plus en profondeur la façon dont les théories sur la perception des risques peuvent fournir des informations aux échanges entre parties prenantes relatifs aux nouvelles technologies.

Tableau 5. Théories sur la perception des dangers/risques

Théorie	Bref résumé
Théorie culturelle	Les individus réagissent aux messages sur les risques en fonction de leur appartenance culturelle.
Modèles mentaux	Les personnes développent des perceptions des risques sur base des associations qu'ils font avec d'autres types de risques.
Amplification sociale du risque	La perception publique d'un risque peut être influencée par le nombre et le type de messages reçus.
Paradigme psychométrique	Une série générale de facteurs psychologiques peut prévoir la façon dont une technologie va être perçue.

Théorie culturelle

66

Différents groupes de parties prenantes jouent différents rôles au sein de tout dialogue. Cela est encore plus vrai lorsque les préoccupations se focalisent sur une technologie ou une série de technologies comme les nanotechnologies. En effet, comme nous l'avons déjà mentionné, les opinions des différents groupes varieront considérablement, non seulement à l'égard de l'évaluation des risques et des avantages, mais aussi en ce qui concerne leur contribution respective à l'échange.

La Théorie culturelle, mise au point par l'anthropologue britannique Mary Douglas et ses collaborateurs (Douglas, 1992; 1996; Douglas et Wildavsky, 1982; Gyawali, 2001; Thompson *et al.*, 1990), fournit de précieuses informations sur les attentes, les positions et les attitudes probables de différents groupes d'acteurs politiques. Cette théorie s'est servie de l'énergie atomique comme premier cas type. Elle insiste sur l'organisation sociale plutôt que sur des facteurs économiques ou cognitifs. C'est la raison pour laquelle la Théorie culturelle offre un angle différent, complémentaire, sur les rôles des parties prenantes. Cela signifie également que la présente partie offre une perspective différente des précédentes du fait de l'attention qu'elle porte davantage aux aspects sociaux qu'aux connaissances. La Théorie culturelle identifie cinq segments de la société, à savoir: les segments «hiérarchique», «individualiste», «égalitaire», «fataliste» et «autonome». Nous n'allons aborder que les quatre premiers.

Au sein d'une structure sociale hiérarchique, les individus appartiennent à un groupe et leur rang ou statut détermine leurs attitudes. Dans le segment individualiste, les individus sont isolés et bénéficient de liberté. Le système égalitaire établit une distinction nette entre ceux qui appartiennent au groupe et ceux qui n'y appartiennent pas, tout en veillant à l'égalité entre les membres du groupe. Le groupe des fatalistes regroupe les personnes respectueuses des règles et les individus non organisés. Le Tableau 6 résume quelques caractéristiques des quatre segments. Il permet de vérifier l'opportunité de classer les «autorités publiques», «l'industrie» et les «ONG» dans les groupes «hiérarchique», «individualiste» et «égalitaire».

Ces différents groupes ont différentes perceptions des risques et adoptent différentes attitudes à son égard. Les individus du segment hiérarchique parviendront à gérer un problème en y apportant une solution. Les individualistes prendront le risque,



ils essaieront de l'utiliser, le considérant comme une occasion. Les égalitaires considéreront le risque comme un «mal» économique. Le plus souvent, ils limiteront l'évaluation des risques à une évaluation des dangers. Ils tenteront d'éviter le risque à tout prix. Enfin, les fatalistes accepteront le risque et le supporteront patiemment. Ces attitudes fondamentalement différentes détermineront à la fois la nature et le contenu de leur participation à un dialogue.

Les fatalistes se révéleront pratiquement incapables de participer. Les trois autres segments actifs participeront en fonction: i) des procédures (hiérarchie), ii) du fond (individualistes) et iii) de principes et, résultant d'oppositions avec des proches, des problèmes et des défauts (égalitaires). Cela signifie que ces trois groupes impliqués ne seront jamais entièrement d'accord ni sur le sujet à discuter, ni sur la solution à apporter ou la façon de procéder. Les compromis, c'est-à-dire des solutions imparfaites, représentent les seules options. Bien que moins «plaisant au regard», ce genre de compromis maladroit offre des perspectives de solutions plus stables (préoccupation hiérarchique), plus productives (intérêt individualiste) et plus conformes aux principes scientifiques et démocratiques établis (en particulier, l'équité) (une préoccupation égalitaire) que celles obtenues par un seul segment ou une alliance entre deux d'entre eux.

Tableau 6. Segments de la Théorie culturelle

	Groupe hiérarchique	Groupe individualiste	Groupe égalitaire	Groupe fataliste
Les personnes qui y adhèrent...	appartiennent à un groupe social et leur position sociale dicte leur attitude	n'appartiennent pas à un groupe social et leur position sociale ne dicte pas leur attitude	appartiennent à un groupe social et leur position sociale ne dicte pas leur attitude	n'appartiennent pas à un groupe social et leur position sociale ne dicte pas leur attitude
Exemple n° 1	administration	entrepreneur	ONG	victimes
Exemple n° 2	loups	faucons	vautours	ânes
Le risque est...	géré	pris	évité	accepté
Les actions ont trait...	aux procédures, aux réglementations	à l'innovation	aux précautions	Rien jusqu'à ce que des troubles éclatent
La communication se concentre sur...	des doctrines, des mesures	des faits, des perspectives	des principes, des problèmes	(sans objet)
L'évaluation des risques se concentre sur...	les dangers et l'exposition	l'exposition	les dangers	les dangers
Les réponses au manque d'informations...	fluctuent de «davantage de recherches sont nécessaires» à «moratoire»	«innocent jusqu'à preuve du contraire»	«dangereux sauf preuve du contraire»	«pas de nouvelles, bonnes nouvelles»
Réactions face aux informations supplémentaires	Rassurés	Rassurés	Alarmés	Alarmés

Source: Tableau réalisé sur la base de la présentation de Philippe Martin lors de la réunion de l'ECETOC du 9 novembre 2005, à Barcelone (Espagne).

Faire participer tous les groupes aux dialogues entre parties prenantes – signifiant, dans la pratique faire participer «les autorités publiques», «l'industrie» et les «ONG» ainsi que des membres du public non organisés – représente donc l'intérêt de parvenir démocratiquement à des résultats légitimes, opérationnellement utiles et socialement acceptables.

Paradigme psychométrique

Le paradigme psychométrique se fonde sur des études pour déterminer quelles caractéristiques des technologies et quels produits associés participent à la perception du risque. Le modèle se construit de façon empirique, grâce à des théories issues d'analyses d'observations et d'expérience. Les premières itérations du paradigme suggèrent que le risque perçu était grandement déterminé par deux facteurs: la nouveauté et la crainte (Fischhoff *et al.*, 1978). La nouveauté comprend des sous-facteurs comme le fait de savoir si les dangers technologiques sont connus ou pas, observables ou pas, immédiats ou différés, nouveaux ou anciens. La crainte inclut des sous-facteurs comme le fait de savoir si les effets sont contrôlables ou pas, mortels ou pas, équitables ou inéquitables, volontaires ou involontaires, à venir ou actuels (Slovic *et al.*, 1985).

Depuis la publication du paradigme de départ, des réactions émotionnelles et la confiance ont également été ajoutées au modèle en tant que facteurs importants dans la perception du risque. Il a été prouvé que la confiance des acteurs impliqués dans l'analyse et la gestion des risques influence la perception des risques (Slovic *et al.*, 1991). Des études ont aussi montré un lien entre les sentiments ou les attitudes envers un sujet de risques et la perception des risques («approche heuristique fondée sur l'affect») (Finucane *et al.*, 2000).

La plupart des études qui ont suivi en matière de perception des risques se sont appuyées sur le paradigme psychométrique même si certaines études ont révélé leurs défauts en excluant d'autres variables comme la mortalité, les attitudes culturelles (voir la partie consacrée à la Théorie culturelle), des aspects économiques et des opinions à propos d'une «altération de la nature» (Sjoberg, 2006). Malgré tout, le paradigme ou une version plus inclusive de ce dernier pourraient aider à orienter l'engagement du public à l'égard des nanomatériaux manufacturés dans l'agriculture et l'alimentation et leurs risques et avantages potentiels. Les premières questions pour guider la participation pourraient souligner le caractère contrôlable, l'incertitude, les sentiments, la confiance, la nouveauté, la mortalité, les conséquences économiques et la distribution équitable des risques. Les parties prenantes seraient ouvertes à la discussion si ces facteurs sont importants pour elles dans le cadre d'un nanomatériel manufacturé précis utilisé dans l'alimentation ou l'agriculture, et comment ils le sont.

Amplification sociale du risque

Le cadre d'amplification sociale du risque (Kasperson *et al.*, 1988) explique, au moins en partie, les façons dont les risques découlant de certains dangers à faible probabilité de dommages sont amplifiés par l'effet de ricochet des communications publiques (Breakwell *et al.*, 2001; Pidgeon *et al.*, 2003). Les médias, ou d'autres sources



d'informations, jouent un rôle dans les perceptions du niveau de risque et peuvent accroître le niveau de préoccupations en accordant trop d'importance aux risques en se concentrant sur un danger ou une incertitude.

La théorie de l'amplification sociale du risque établit des liens entre la communication de messages sur un risque et la perception publique du danger. La façon d'expliquer les messages peut influencer la signification du risque chez le receveur, ce qui peut fausser les messages et modifier les réactions à leur égard, allant dans certains cas jusqu'à amplifier leur importance relative. L'amplification peut engendrer un effet de ricochet aux conséquences sociales et économiques bien plus importantes.

Un examen critique du cadre d'amplification sociale du risque (Breakwell and Barnett, 2001) a révélé ses limites à saisir la complexité des facteurs de la perception du risque. Il précise toutefois que «la nature de l'amplification du risque est modifiée par les façons dont les instances de réglementation réagissent aux inquiétudes des publics et parties prenantes visés. En réalité, elles peuvent éviter une intensification inutile en adoptant des mesures en temps opportun». Les auteurs suggèrent que la participation des instances gouvernementales implique:

- qu'elles examinent leur comportement en cas de divergence;
- qu'elles analysent leurs dialogues avec les médias en cas de controverses; et
- qu'elles mettent au point une politique d'information des médias tout au long du cycle de controverse.

Pourtant bien établis pour de nombreux dangers, les nouveaux modes de communication comme les blogs, Twitter, etc. peuvent modifier la nature de l'amplification du risque.

Une bonne communication

Communication et dialogue efficaces entre toutes les parties prenantes
Il convient de disposer de critères d'évaluation pour mesurer l'efficacité de la communication. Certains s'appliqueront à la communication et au dialogue, mais d'autres différeront.

La communication et le dialogue doivent soutenir le processus démocratique de prise de décisions désormais souvent surnommé, surtout en Europe, «gouvernance». Cet impératif démocratique exige au minimum que la communication et le dialogue se fondent sur des informations factuelles traduites en termes compréhensibles pour le public ou les parties prenantes: i) issues de sources indépendantes, ou, à défaut, de sources dont les intérêts sont déclarés et ne posent pas de problèmes, ii) de la meilleure qualité possible et iii) obtenues de façon transparente que les pairs peuvent vérifier, dupliquer et auront effectivement validé et/ou revu. De plus, le processus applicable à la communication et au dialogue doit respecter un critère d'ouverture et de clarté de l'objectif pour veiller à respecter la confiance et à répondre à des attentes raisonnables.

Du reste, en dehors de ces critères dits «démocratiques», une communication efficace exige que l'on tienne compte des connaissances et de l'affect (ou des appartenances culturelles). Dans la pratique, parler des risques d'un élément que les

personnes ne connaissent pas ou pour lequel elles ne peuvent pas évaluer les avantages débouchera sur l'attribution d'un niveau de risque élevé. Ce sentiment est exacerbé lorsqu'il est associé à des limites de raisonnements des profanes et des experts sur les risques et les probabilités (voir par exemple, Gigerenzer, 2003). L'affect et les appartenances culturelles joueront en outre un rôle essentiel qui se révèle souvent difficile à décoder. En effet, ce qui apparaît parfois comme de l'hystérie collective provient souvent d'une concurrence complexe entre les quatre visions culturelles concurrentes identifiées par la Théorie culturelle au sein d'un même individu et entre individus. Tout en recommandant le respect d'un code d'éthique strict vérifié par des comités d'éthique, nous devons nous interroger pour déterminer si la communication sur les risques avec des personnes profanes ne fonctionnerait pas mieux en mettant les éléments dans leur contexte, c'est-à-dire en incluant les avantages. Certains pourraient également vouloir faire une recommandation qu'il est impossible de satisfaire; à savoir une forme de communication «neutre du point de vue de l'affect». Étant donné que notre réflexion et notre mécanisme physiologique qui la soutient évoluent en fonction d'objets concrets, il est simplement impossible de parler sans métaphores, et donc sans références à notre affect. Pourtant, il est possible d'aspirer à des formulations linguistiques qui respectent et tiennent compte des intérêts de tous les segments de la Théorie culturelle, repoussant ainsi le moment de l'adoption d'une position par appartenance culturelle.

La vérification expérimentale de Kahan *et al.* (2007, p.31) fournit une base à cette proposition. L'étude indique que, contrairement à ce que l'on aurait cru, à mesure que les membres du public en apprennent davantage sur la nanotechnologie, leurs évaluations de ses risques et avantages diffèrent, de façon contraire aux attentes. Plus précisément, ceux «dont les valeurs les prédisposent plutôt à croire des allégations de risques environnementaux ont en général tendance à s'alarmer alors que ceux dont les valeurs les prédisposent à refuser les allégations de risques environnementaux sont en général rassurés». Ces observations ont poussé Kahan *et al.* à formulé ce qu'ils estiment être une conclusion essentielle de leur étude, à savoir que «la simple diffusion d'informations fondées scientifiquement ne suffit pas en soi pour venir à bout des connaissances culturelles à l'origine de dissensions». Les personnes susceptibles d'éduquer le public – des responsables gouvernementaux, aux scientifiques, aux acteurs de l'industrie – doivent également encadrer aussi intelligemment que possible ces informations pour que des individus d'orientations culturelles différentes puissent les concilier avec leurs valeurs.

En bref, une communication et un dialogue efficaces impliquent le respect de critères démocratiques et éthiques ainsi que la prise en compte des façons individuelles de penser et de réagir aux informations. Une fois encore, nous sommes dans l'imperfection, car ces différents impératifs font peser des exigences antagonistes sur la communication et le dialogue. Il conviendra, pour parvenir à une communication et un dialogue efficaces, de trouver le juste équilibre entre ces différents éléments au cas par cas, en se fondant sur les expériences passées qui seront des guides moyennement fiables, et en ajoutant le respect en tant que condition préalable et l'écoute comme condition absolue.



Dialogue efficace avec les médias

Le problème avec les controverses scientifiques, quelles qu'elles soient, qu'elles aient trait à la nanotechnologie, aux organismes génétiquement modifiés, au vaccin contre la rougeole, les oreillons et la rubéole, à l'expérimentation animale ou au changement climatique, est que des certains individus et organisations s'emparent du vide qui suit directement une nouvelle sensationnelle avec un programme précis et une compréhension sophistiquée de la façon de tirer avantage de ces occasions médiatiques. Ces groupes et individus reconnaissent que chaque vague d'informations est une chance de faire entendre leur point de vue.

Ce déséquilibre survient lorsque des scientifiques, des médecins et des ingénieurs ne participent pas à ces groupes. La plupart des experts soit ne seront pas en mesure de corriger la désinformation et les incohérences, du fait des restrictions institutionnelles pesant sur leur engagement indépendant à l'égard des médias, soit seront peu enclins à chercher à attirer l'attention des médias en le faisant. Même lorsque des experts ont la volonté et l'autorité de corriger un dossier public ou de participer à un débat public, la plupart manquent d'accès correct aux médias. À cet égard, bon nombre d'experts sont comparativement désavantagés en termes d'accès aux médias. La forte dépendance au temps de l'intérêt médiatique et les critiques possibles de la part de collègues qui pourraient désapprouver le fait de vouloir s'attirer les feux de la rampe, pourraient encore inhiber la volonté de prendre contact avec les médias.

Pour répondre à ces difficultés et à ces facteurs inhibiteurs, le concept de Centre sciences et médias (Science Media Centre – SMC) a été développé. Le premier centre de ce type a été ouvert à Londres en 2002, suivi par l'Australie en 2005, la Nouvelle-Zélande en 2008 et le Canada en 2009. Ces centres veillent à diffuser des données scientifiques factuelles et à faire entendre la voix de scientifiques crédibles dans les médias au moment où la société en a le plus besoin. Les commentaires doivent être indépendants, en rapport avec les actualités et ne pas être liés à un programme autre que la promotion de données scientifiques factuelles pour le bien de la société. En surveillant les actualités et en cherchant des occasions d'associer les sciences aux gros titres de l'actualité, les SMC sont parfaitement placés pour aider la communauté scientifique à réagir aux controverses. Mais cette méthode de travail n'est pas sans poser des problèmes. Pour les scientifiques, le rythme de l'actualité est difficile à gérer. Ils veulent du temps pour revoir tous les faits et envisager tous les problèmes avant de commenter des nouvelles de dernière minute. Du fait de leur éthique professionnelle, ils refusent en général de spéculer au-delà d'une extrapolation raisonnable de données existantes alors que la spéulation est essentielle dans le cycle rapide des actualités. Lorsque les scientifiques se sentiront à l'aise, il est probable que l'occasion de s'exprimer se soit envolée.

La vitesse est déterminante. Les réactions des experts doivent être rapides, crédibles et axées sur des preuves. Elles peuvent aussi être échelonnées – en cas de controverses importantes, ils auront plus d'une occasion de s'exprimer. Ils pourraient aussi avoir l'occasion de présenter des concepts de haut niveau où la confiance en la fiabilité des faits est élevée, tout en reconnaissant que certains éléments sont inconnus au départ du débat ou lorsque le problème se pose. Des propositions de plus en plus

définitives voient alors le jour à mesure de la disponibilité et de l'assimilation de davantage d'informations.

Des auteurs ne publient pas des études publiquement controversées pour induire sciemment le public dans l'erreur, mais leur message, une fois traduit dans des communiqués de presse et des articles, perd ses qualificateurs et son contexte. La plupart des publications scientifiques explorent diverses interprétations des résultats de recherches ou proposent une explication comme base de recherches supplémentaires plutôt qu'une conclusion ferme. Pourtant, en général, seule une interprétation est transmise au public. En émettant des commentaires indépendants et nuancés sur ces articles, les scientifiques aident à combler ces lacunes et offrent au public une aide à l'interprétation des informations.

Certains voudraient que les scientifiques parviennent à un consensus sur des points prêtant à controverses avant de les soulever publiquement. Pourtant, outre le fait qu'il est difficile que la presse ne soit pas informée des nouvelles recherches, un tel contrôle implique que les individus ne peuvent assimiler qu'une quantité limitée d'informations et ne sont pas en mesure de se forger une opinion sur base de différents points de vue. Ce genre d'approches pourrait également affaiblir la confiance que le public place dans les sciences. Une approche médiatique coordonnée sur des thèmes controversés alimente les théories de conspiration aux yeux desquelles l'unique intérêt des scientifiques est de poursuivre leurs propres recherches, ou pire, qu'ils travaillent à la promotion d'un programme gouvernemental ou industriel caché. Il est évident que des experts indépendants peuvent avoir et ont des programmes et des opinions qui ne se basent pas forcément sur des preuves indéniables. C'est la raison pour laquelle il est essentiel de mener une discussion fondée sur des données probantes pour soutenir un débat communautaire éclairé.

Il arrive souvent que le public ne comprenne pas ou oublie que la communauté des chercheurs n'est pas un groupe cohésif avec un message unique. La recherche scientifique est un domaine grandement concurrentiel et itératif, ce qui aide à garder les preuves au cœur des préoccupations: toute allégation qui n'est pas étayée de preuves sera pointée du doigt par un scientifique qui avancera des références et des citations en vue de soutenir un débat scientifique sain. Malheureusement, cela se produit en général loin du regard du public, dans des salles de conférence et des publications scientifiques dont le langage n'est pas accessible à la plupart des membres du public.

Une participation accrue des scientifiques au débat public, lesquels feraient partager leurs données factuelles et leurs arguments d'experts, viendrait étayer un débat public éclairé et aiderait le public à tirer ses propres conclusions une fois qu'il aurait pris connaissance des différentes opinions compétentes.

Résumé et conclusions

La mise en place d'un dialogue transparent et constructif entre parties prenantes suppose bien des choses. Différents lecteurs disposant de différentes connaissances, appréciations des risques, appartences à des groupes de parties prenantes, etc. tireraient très probablement des enseignements forts différents de ce chapitre.



Voici quelques messages invitant à la réflexion que nous aimerais présenter:

- L'alimentation est un sujet délicat, l'un des plus sensibles dans le domaine des nanosciences/nanotechnologies. Les nanoaliments pourraient se révéler trop sensibles à gérer pour ceux et celles qui manifestent un intérêt pour le public et qui ignorent ou ne parviennent pas à saisir les subtilités de la communication avec les citoyens et de la participation de ces derniers.
- L'engagement public n'a de sens que si l'on se concentre sur les problèmes qui ont une véritable importance pour les participants issus du public. Les thèmes auxquels le public apporte de l'importance sont la sécurité, les avantages pour les citoyens, le langage et la terminologie, les priorités du financement de la recherche-développement, la réglementation et sa mise en œuvre. Si le débat public ne porte pas sur des sujets que les citoyens ont à cœur et ne débouche pas sur des résultats concrets, il en résultera des frustrations, un manque de confiance et enfin une opposition publique.
- La participation pourrait, à long terme, requérir des ajustements institutionnels, voire réglementaires, en raison de la superposition de fait des différents courants du dialogue démocratique, des consultations formelles et informelles et des processus décisionnels.
- La condition élémentaire à tout engagement du public est de s'accorder sur un langage commun.
- En ce qui concerne les intérêts, les perceptions et les préoccupations du public, aucune force intellectuelle ne rivalisera jamais avec des consultations, des enquêtes ou des activités participatives bien conçues. En outre, l'intérêt, les perceptions et les préoccupations du public varient avec la culture, y compris la culture au sein d'un groupe de parties prenantes, et avec le temps.
- Au-delà des considérations culturelles, les autorités gouvernementales du monde entier peuvent accroître la confiance du public grâce à des efforts institutionnels visant à contrôler minutieusement les applications de la nanotechnologie dans l'alimentation et les emballages de façon transparente et qui autorise la participation du public.
- Les (véritables) connaissances du public des applications de la nanoscience et de la nanotechnologie augmentent de façon exponentielle partout dans le monde et cela pourrait rompre le fragile équilibre entre les avantages et les perceptions des risques.
- En dehors des «avantages» en tant que facteurs essentiels en termes de classement des risques et de désir des consommateurs d'acheter, «l'utilisation» et, implicitement ou explicitement, l'exposition sont déterminants.
- Promouvoir de nouvelles applications sans avoir les capacités de prouver qu'elles sont sûres conduit inévitablement à des protestations et à un désastre commercial. Il sera bénéfique aux entreprises d'intégrer cette observation empirique à leurs réflexions stratégiques.
- Une première vague d'échanges s'est achevée et la deuxième est d'une ampleur moindre. Parviendra-t-elle à répondre aux revendications de débats publics plus ouverts, surtout sur la nature et le niveau d'intervention publique/réglementaire requis, comme le demandent les ONG et les organisations de consommateurs ?

- Un examen des aspects culturels suggère qu'il n'existe aucune solution uniforme pour une communication et un dialogue transparents et efficaces. Toutefois, il est possible de trouver des arrangements pratiques qui prennent en considération le niveau de connaissances des interlocuteurs, les processus cognitifs, l'aversion pour les risques et les appartenances culturelles, ainsi que des principes scientifiques et démocratiques.
- La participation de toutes les parties prenantes aux échanges – signifiant, dans la pratique faire participer «les autorités publiques», «l'industrie» et les «ONG» ainsi que des membres du public qui ne sont pas organisés – représente donc l'intérêt de parvenir démocratiquement à des résultats légitimes, opérationnellement utiles et socialement acceptables.
- L'examen des connaissances culturelles permet également de dégager une solide hypothèse de travail pour le moment où certaines parties prenantes ont une opinion sur quelque chose dont elles ne connaissent rien. En effet, les dernières recherches dans ce domaine suggèrent que l'appartenance culturelle aura tendance à dicter la position adoptée plutôt qu'une pondération rationnelle ou irrationnelle.
- Une communication et un dialogue efficaces impliquent le respect de critères démocratiques et éthiques ainsi que la prise en compte des façons individuelles de penser et de réagir aux informations. Ces différents impératifs font peser des exigences antagonistes sur la communication et le dialogue. Il conviendra, pour parvenir à une communication et un dialogue efficaces, de trouver le juste équilibre entre ces éléments au cas par cas.
- Quant à un dialogue efficace avec les médias, permettre au public de se forger sa propre opinion sur la base d'un «éventail riche de voix compétentes» – et accorder aux scientifiques la liberté de s'exprimer devant les médias – servira au mieux les intérêts de la démocratie.

Pour forcer la réflexion, nous vous invitons à accommoder à votre propre sauce ces messages donnés en guise de conclusions. Il ne s'agit purement et simplement que de tentatives pour aller au-delà du «vieux bon sens». En vérité, elles tentent de briser un modèle. Ces invitations à penser un peu différemment visent à éviter de répéter des erreurs passées et bien documentées, et à faire des nanosciences et des nanotechnologies non seulement des succès scientifiques et commerciaux, mais aussi des réussites démocratiques.

Recommandations

Applications des nanotechnologies

Il faudrait se pencher sur la mise en place d'une base de données documentée qui recense les nanomatériaux et les produits et applications actuels et émergents des nanotechnologies dans le secteur de l'agroalimentaire.

- Il existe un certain nombre de définitions ayant trait aux matériaux, processus, produits et applications des nanotechnologies. Il est nécessaire de se mettre d'accord sur un ensemble spécifique de définitions claires et harmonisées à l'échelle internationale qui aient trait à ce secteur, la FAO et l'OMS devant appuyer les activités menées dans ce sens.
- Il faudrait définir une procédure de classification des nanostructures dans les produits alimentaires qui appuie la gouvernance des risques liés aux nanomatériaux manufacturés.
- Les résultats de cette réunion devraient constituer une base sur laquelle s'appuyer pour déterminer s'il est nécessaire de procéder à une analyse des lacunes afin de s'assurer que les applications des nanomatériaux manufacturés dans le secteur agroalimentaire sont dûment couvertes par les dispositions du Codex Alimentarius.
- Il est nécessaire d'examiner le cycle complet des nanomatériaux manufacturés dans les applications agroalimentaires.
- Étant donné les implications potentielles pour la santé publique, l'utilisation de nanomatériaux manufacturés biopersistants dans le secteur de l'agriculture, qui risquent de persister dans l'environnement ou de s'accumuler dans l'organisme, devrait être envisagée en termes d'exposition ultérieure durant la production et l'utilisation, et dans le contexte d'une contamination possible des produits agroalimentaires, des sols, de l'eau, etc.

Évaluation des risques

La méthode d'évaluation des risques actuellement utilisée par la FAO, l'OMS et le Codex est adaptée pour les nanomatériaux manufacturés dans l'alimentation et l'agriculture, y compris pour évaluer leurs effets sur la santé animale.

- La FAO et l'OMS devraient continuer d'examiner leurs méthodes d'évaluation des risques, en particulier à l'aide de méthodes à plusieurs niveaux, afin de traiter des questions émergentes spécifiques liées à l'application des nanotechnologies dans l'alimentation humaine et animale.
- La FAO et l'OMS devraient envisager de rechercher d'autres avis scientifiques plus approfondis sur l'utilisation d'une méthode d'évaluation des risques à plusieurs niveaux pour l'application de ces technologies dans l'alimentation humaine et animale. Cette méthode consisterait en un niveau initial de contrôle, pour définir les caractéristiques du matériau et estimer la toxicité et l'exposition ou la relation dose-effet. Il s'agirait ensuite de travaux plus poussés, exigeant un grand volume de données le cas échéant. La mise en œuvre de ce type de méthode déboucherait sur des connaissances améliorées des relations entre les caractéristiques physicochimiques et les interactions biologiques. Enfin, cela pourrait permettre de hiérarchiser les types ou les classes de matériaux pour lesquels il faudrait sans doute obtenir des données supplémentaires pour réduire les incertitudes dans l'évaluation des risques.
- À l'appui de cette approche à plusieurs niveaux, il est recommandé que la FAO et l'OMS élaborent un outil de prise de décision qui contribue à déterminer la méthode appropriée d'évaluation des risques que présentent les différentes catégories de nanomatériaux.
- Les experts participant à cette réunion recommandent que la FAO et l'OMS encouragent la recherche novatrice et interdisciplinaire susceptible de déboucher sur de nouvelles stratégies d'évaluation des risques concernant l'application des nanotechnologies dans l'alimentation humaine et animale tout en maintenant ou en améliorant le niveau actuel de protection.
- L'utilisation de méthodes novatrices peut en même temps se traduire par une diminution des expérimentations animales, leur remplacement ou leur amélioration, par exemple grâce à l'élaboration de méthodes à plusieurs niveaux qui s'appuient dans une large mesure sur d'autres méthodes que les tests.
- L'élaboration de méthodes d'essai validées et d'orientations comblerait le manque de données dans les domaines suivants:
 - méthodes appropriées de caractérisation physique et chimique pour les nanomatériaux manufacturés dans les matrices de produits alimentaires, y compris pour les animaux, pendant le cycle de vie du produit, compte tenu des processus dynamiques liés à ces paramètres dans diverses matrices;
 - caractérisation des nanomatériaux manufacturés dans des matrices de produits alimentaires, d'aliments pour animaux et de produits agricoles;
 - détermination de la présence de nanoparticules dans les tissus biologiques;
 - teneur *in vitro*, *in vivo*, *ex vivo* et *in silico* pour l'évaluation des effets toxicologiques potentiels des nanomatériaux manufacturés;
 - propriétés biocinétiques des nanomatériaux manufacturés, compte tenu en particulier du potentiel de ces nanomatériaux à franchir les barrières biologiques (muqueuse, barrière hématoencéphalique, excrétion dans le lait maternel), nouveaux schémas de distribution, et mécanismes du métabolisme et de

- l'excrétion. Il est en outre recommandé de corrélérer ces données avec des caractéristiques physicochimiques;
- caractérisation des nanomatériaux manufacturés en calculant les doses à l'aide d'autres méthodes que la concentration massique.
 - Les organisations internationales (FAO et OMS) devraient envisager de demander, de regrouper et de diffuser les types de données suivants:
 - concentration de fond des nanomatériaux manufacturés dans les matrices de produits alimentaires et d'aliments pour animaux;
 - quantité et forme des nanomatériaux dans les denrées alimentaires et les aliments pour animaux du fait de l'utilisation d'applications des nanomatériaux dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture.
 - Les experts participant à la réunion recommandent que la FAO et l'OMS encouragent l'utilisation de connaissances provenant d'autres sources dans les évaluations des risques, tout en reconnaissant qu'il s'agit d'une entreprise considérable.
 - Ces sources pourraient être des études épidémiologiques ou des études cliniques (pharmaceutiques, sciences des matériaux, etc.).

Confiance des parties prenantes

La FAO et l'OMS devraient constituer une tribune afin de nouer un dialogue continu à l'échelle internationale en vue d'élaborer des stratégies visant à résoudre les problèmes des parties prenantes liées au développement des nanotechnologies dans l'alimentation, l'eau et l'agriculture.

Pour contribuer à résoudre les «échecs publics» des technologies émergentes, la FAO et l'OMS devraient envisager de susciter la participation d'un grand nombre de parties prenantes – pouvoirs publics, industries, ONG environnementales, organismes de consommateurs, organisations scientifiques, spécialistes de la communication et grand public, notamment – concernant l'utilisation des nanotechnologies dans l'agriculture et l'alimentation. Le but est, en particulier, mais pas exclusivement, de mener des activités de sensibilisation auprès des entités suivantes: i) décideurs – s'agissant de l'importance que revêt la participation du public tout en tenant compte des différents aspects des risques (scientifique et technique, cognitif, psychologique et sociologique) et de leurs incidences pour l'évaluation des risques, la communication et la gestion; ii) analystes – concernant l'intérêt d'évaluer les résultats des dialogues précédents et de transmettre ces conclusions aux décideurs et à d'autres parties prenantes dans les systèmes faisant appel aux nanotechnologies dans l'agriculture et l'alimentation; iii) organismes de financement de la recherche-développement – s'agissant d'entamer un dialogue public à propos de la hiérarchisation des priorités de la recherche-développement; iv) toutes les parties prenantes – pour mieux faire comprendre les intérêts, les préoccupations et les points de vue de chacune d'entre elles. En outre, ce dialogue international peut constituer une tribune non contraignante pour recenser les questions émergentes qui pourraient être examinées par la suite par des organisations internationales, multinationales et nationales (voir recommandation ci-dessous).

La FAO et l'OMS devraient encourager les pays Membres à susciter la participation du public dans les applications des nanosciences et des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture. À l'appui, la FAO et l'OMS devraient fournir des orientations, dispenser une formation et allouer des ressources pour le renforcement des capacités afin que les gouvernements fassent participer les parties prenantes.

- Le dialogue devrait être axé sur des questions que le public juge dignes d'intérêt, de manière proactive et réactive, aboutir à des résultats identifiables et inclure une évaluation ex post des activités participatives. La FAO et l'OMS sont invitées à faire le meilleur usage possible des résultats de leur processus de participation publique, des ressources d'information existantes sur la perception du consommateur et les attitudes du public, et de l'évaluation des résultats du dialogue déjà noué entre les parties prenantes sur les nanotechnologies.
- Parmi les questions jugées importantes par le public figurent notamment la sécurité, les avantages pour les citoyens, le langage et la terminologie, les priorités du financement de la recherche-développement, la réglementation et sa mise en œuvre et l'adéquation aux valeurs socioculturelles. Si la liste n'est pas exhaustive, les conditions préalables à l'établissement d'un bon dialogue sont notamment les suivantes: i) avoir un objectif clair, ii) communiquer cet objectif aux participants, iii) partager un langage commun, iv) examiner les questions soulevées dans des sondages auprès des consommateurs et dans de précédents exercices auxquels a participé le public, v) veiller à ce que l'on dispose de suffisamment de temps, vi) prendre en compte les aspects culturels, vii) nouer un dialogue ouvert, transparent et représentatif, viii) faire en sorte que les participants fassent confiance à l'hôte, qu'un animateur de confiance gère le processus et que les participants aient accès à des sources d'information et des experts fiables, et ix) défendre les principes scientifiques et éthiques établis.
- Parmi les questions essentielles qu'il faudrait considérer dans toute communication, on citera notamment les risques, les avantages, l'utilisation, les données factuelles, l'exposition, les valeurs sociales, les impacts économiques, l'affect et la confiance. Dans ce contexte, la communication et l'éducation dans le domaine des sciences contribuent directement à la qualité et à l'utilité du dialogue. Les scientifiques et les spécialistes de la communication scientifique ont par conséquent un rôle essentiel à jouer. Les scientifiques contribueront aussi résolument à l'élaboration d'informations de qualité, indépendantes et nuancées sur les risques et les avantages des nanosciences et des nanotechnologies en toute transparence. La communication devrait tirer parti des différents types de médias (par exemple presse écrite, communiqués de presse sur des études publiées, radio, télévision, internet, discours public, etc.).
- La FAO et l'OMS devraient revoir le cadre FAO/OMS existant d'analyse des risques pour la sécurité alimentaire à la lumière d'autres cadres de discussion et d'analyse, eu égard en particulier à l'engagement des parties prenantes.
- Compte tenu de l'importance que revêt l'établissement de la confiance, la FAO et l'OMS devraient identifier des mécanismes qui encouragent la transparence et

la traçabilité des produits fondés sur les nanotechnologies ou des nanomatériaux manufacturés dans l'alimentation et l'agriculture et pour ce qui est des risques qui y sont associés.

- Étant donné leur rôle au niveau international et compte tenu des multiples contextes culturels en jeu, la FAO et l'OMS devraient encadrer la mise en place d'un processus d'évaluation en vue de mesurer le succès et l'intérêt des stratégies faisant participer le public en ce qui concerne l'application des nanotechnologies dans l'alimentation et l'agriculture.
- Les experts participant à cette réunion recommandent que la FAO et l'OMS renforcent la communication et la coopération avec d'autres organisations intergouvernementales, par exemple avec le Programme interorganisations pour la gestion rationnelle des produits chimiques (IOMC), en vue de garantir une complémentarité dans leurs activités respectives, tout en évitant la duplication du travail.

Références

- Acción Ecológica.** 2007. Principles for the Oversight of Nanotechnologies and Nanomaterials. <http://www.iufdocuments.org/www/documents/Principles%20for%20the%20Oversight%20of%20Nanotechnologies%20and%20Nanomaterials.pdf>
- Aitken, R.J., Chaudhry, M.Q., Boxall, A.B.A. & Hull, M.** 2006. Examen en profondeur: Manufacture and use of nanomaterials: current status in the UK and global trends. *Occupational Med. – Oxford*, 56: 300–306.
- Akbari, Z., Ghomashchi, T. & Moghadam, S.** 2007. Improvement in food packaging industry with biobased nanocomposites. *Int. J. Food Engineer.* [en ligne], 3(4): article 3, 24 août 2007. www.bepress.com/ijfe/vol3/iss4/art3. ISSN 1556-3758.
- Alkhamis, K.A., Salem, M.S. & Khanfar, M.S.** 2009. Determination of the mechanism of uptake of organic vapors by chitosan. *Pharm. Dev. Technol.*, 14(1): 90–95.
- Amis de la Terre.** 2008. *Out of the laboratory and on to our plates. Nanotechnology in Food and Agriculture.* Un rapport préparé pour les Amis de la Terre Australie, Europe et État-Unis, et soutenu par les Amis de la Terre Allemagne. Pages 1-73, mars 2008, <http://nano.foe.org.au>.
- Araujo, L., Löbenberg, R. & Kreuter, J.** 1999. Influence of the surfactant concentration on the body distribution of nanoparticles. *J. Drug Target.*, 6(5): 373-385.
- Back, E.I., Frindt, C., Oćenášková, E., Nohr, D., Stern, M. & Biesalski, H.K.** 2006. Can changes in hydrophobicity increase the bioavailability of alpha-tocopherol? *Eur. J. Nutr.*, 45(1): 1–6.
- Bainbridge, W.S.** 2002. Public attitudes toward nanotechnology. *J. Nanoparticle Res.*, 4(6): 561–570.
- Balbus, J., Maynard, A., Colvin, V., Castranova, V., Daston, G., Denison, R., Dreher, K., Goering, P., Goldberg, A., Kulinowski, K., Monteiro-Riviere, N., Oberdorster, G., Omenn, G., Pinkerton, K., Ramos, K., Rest, K., Sass, J., Silbergeld, E. & Wong, B.** 2007. Rapport de réunion: Hazard assessment for nanoparticles – Report from an interdisciplinary workshop. *Environ. Health Perspect.*, 115(11): 1654–1659.
- Ballou, B., Lagerholm, B.C., Ernst, L.A., Bruchez, M.P. & Waggoner, A.S.** 2004. Noninvasive imaging of quantum dots in mice. *Bioconjug. Chem.*, 15(1): 79–86.

- BfR.** 2006. *Bundesinstitut für Risikobewertung*, Conference de consommateurs sur la nanotechnologie dans les aliments, les produits de beauté et le textile, 20 novembre 2006. http://www.bfr.bund.de/cm/245/bfr_consumer_conference_on_nanotechnology_in_foods_cosmetics_and_textiles.pdf
- Bin Hussein, M. Z., Yahaya, A. H., Zainal, Z. & Kian, L. H.** 2005. Nanocomposite-based controlled release formulation of an herbicide, 2,4-dichlorophenoxyacetate encapsulated in zinc-aluminium-layered double hydroxide. *Sci. Tech. Adv. Mat.*, 6(8): 956–962.
- Bouwmeester, H., Dekkers, S., Noordam, M., Hagens, W., Bulder, A., de Heer, C., ten Voorde, S., Wijnhoven, S. & Sips, A.** 2007. *Health impact of nanotechnologies in food production. Report 2007.014*. Wageningen, UR, RIKILT – Institute of Food Safety, and National Institute of Public Health & the Environment; Center for Substances and Integrated Risk Assessment.
- Bouwmeester, H., Dekkers, S., Noordam, M.Y., Hagens, W.I., Bulder, A.S., de Heer, C., ten Voorde, S.E.C.G., Wijnhoven, S.W.P., Marvin, H.J.P. & Sips, A.J.A.M.** 2009. Review of health safety aspects of nanotechnologies in food production. *Reg. Toxicol. Pharmacol.*, 53: 52–62.
- Boxall, A.B.A., Chaudhry, Q., Sinclair, C., Jones, A., Aitken, R., Jefferson, B. & Watts, C.** 2007. *Current and predicted environmental exposure to engineered nanoparticles*. Central Science Laboratory, York. http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=CB01098_6270_FRP.pdf
- Bozeman, B. & Sarewitz, D.** 2005. Public values and public failure in U.S. science policy. *Sci. Pub. Policy* 32(2): 119–136.
- Breakwell, G.M. & Barnett, J.** 2001. The impact of social amplification of risk on risk communication. U.K. HSE. Disponible à l'adresse: http://www.hse.gov.uk/research/crr_pdf/2001/crr01332.pdf
- Burri, R.V. & Bellucci, S.** 2008. Public perception of nanotechnology. *J. Nanoparticle Res.*, 10(3): 387–391.
- Buzea, C., Pacheco, I.I. & Robbie, K.** 2007. Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity. *Biointerphases*, 2(4): DOI: 10.1116/1.2815690. Disponible à l'adresse: <http://scitation.aip.org/getpdf/servlet/GetPDFServlet?filetype=pdf&id=BJIOBN00000200000400MR17000001&idtype=cvips> Accessed on September 14, 2009.
- Carretaro, M.I.** 2002. Clay minerals and their beneficial effects upon human health: A review. *Appl. Clay Sci.*, 21: 155–163.
- CDS (Comité scientifique directeur)** 2000. *First report on the harmonisation of risk assessment procedures*. Pages 1-173. Commission européenne, Direction générale – Politique des consommateurs et protection de leur santé. http://ec.europa.eu/food/fs/sc/ssc/out83_en.pdf
- Cedervall, T., Lynch, I., Foy, M., Berggard, T., Donnelly, S.C., Cagney, G., Linse, S. & Dawson, K.A.** 2007b. Detailed identification of plasma proteins adsorbed on copolymer nanoparticles. *Angew Chem. Int. Ed. Engl.*, 46(30): 5754–5756.
- Cedervall, T., Lynch, I., Lindman, S., Berggard, T., Thulin, E., Nilsson, H., Dawson, K. & Linse, S.** 2007a. Understanding the nanoparticle-protein corona using methods

- to quantify exchange rates and affinities of proteins for nanoparticles. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 104(7): 2050–2055.
- Chaudhry, Q., Boxall, A., Aitken, R. & Hull, M.** 2005. *A scoping study into the manufacture and use of nanomaterials in the UK*. York, Central Science Laboratory. http://www.defra.gov.uk/science/Project_Data/DocumentLibrary/CB01070/CB01070_3156_FRP.doc Consulté le 25 février 2009.
- Chaudhry, Q., Scotter, M., Blackburn, J., Ross, B., Boxall, A., Castle, L., Aitken, R. & Watkins, R.** (2008) Applications and implications of nanotechnologies for the food sector. *Food Add. Contam.*, 25(3): 241–258.
- Chaudhry, Q., Scotter, M., Castle, L., Blackburn, J., Boxall, A., Aitken, R. & Ross, B.** 2007. Assessment of the potential use of nanomaterials as food additives or food ingredients in relation to consumer safety and implication for regulatory controls. Rapport final du projet A01057, Londres, Food Standards Agency. 36 pages
- Chen, M., Singer, L., Scharf, A. & von Mikecz, A.** 2008. Nuclear polyglutamine-containing protein aggregates as active proteolytic centers. *J. Cell Biol.*, 180(4): 697–704.
- Choy, J.-H., Choi, S.-J., Oh, J.-M. & Park, T.** 2007. Clay minerals and double layered hydroxides for novel biological applications. *Appl. Clay Sci.*, 36: 122–132.
- Cientifica.** 2006. *Nanotechnologies in the food industry*, publié en août 2006. Disponible à l'adresse: www.cientifica.com/www/details.php?id=47.
- Codex 2007a. Manuel de procédure**, Dix-septième édition Commission du Codex Alimentarius. Rome. ftp://ftp.fao.org/Codex/Publications/ProcManuals/Manual_17f.pdf
- Codex 2007b. Principes de travail pour l'analyse des risques en matière de sécurité sanitaire des aliments destinés à être appliqués par les gouvernements. CAC/GL 62-2007.** Commission du Codex Alimentarius. Rome.
- Commission on Risk Assessment and Risk Management in the Federal Government.** 1997. *Framework for environmental health risk management*. <http://www.riskworld.com/nreports/1997/risk-rpt/pdf/EPAJAN.PDF>
- Conseil des Académies canadiennes.** 2008. *Small is different: A science perspective on the regulatory challenges of the nanoscale*. Rapport d'une réunion d'experts sur les nanotechnologies. Ottawa, ON.
- Consumers Talk Nano Dialogue.** 2007. *Project on emerging nanotechnologies and Consumers Union*. Accessed April 2008. <http://www.webdialogues.net/cs/pen-consumer-home/view/di/95?x-t=home.view>
- COT.** 2005. *Joint statement on nanomaterial toxicology*. Comité britannique sur la toxicité, la mutagénicité et la carcinogénicité des substances chimiques dans les aliments, les produits de consommations et l'environnement (COT, COM, COC). <http://www.food.gov.uk/multimedia/pdfs/cotstatements2005nanomats.pdf>
- COT.** 2007. *COT Addendum to joint statement of the Committees on toxicity, mutagenicity and carcinogenicity of nanomaterial toxicology. COT Statement 2007/01, March 2007*. Comité britannique sur la toxicité, la mutagénicité et la carcinogénicité des substances chimiques dans les aliments, les produits de

- consommations et l'environnement (COT, COM, COC). <http://cot.food.gov.uk/pdfs/cotstatementnanomats200701.pdf>
- CSRSEN (Comité scientifique des risques sanitaires émergents et nouveaux).** 2005. *Opinion on the appropriateness of existing methodologies to assess the potential risks associated with engineered and adventitious products of nanotechnologies.* Adopté par le CSRSEN lors de sa 7^{ème} réunion plénière des 28 et 29 septembre 2005.
- CSRSEN (Comité scientifique des risques sanitaires émergents et nouveaux).** 2006. *The appropriateness of existing methodologies to assess the potential risks with engineered and adventitious products of nanotechnologies.* Adopté lors de la 10^{ème} réunion plénière du 26 mars 2006, après consultation publique.
- CSRSEN (Comité scientifique des risques sanitaires émergents et nouveaux).** 2007a. *Opinion on the appropriateness of the risk assessment methodology in accordance with the technical guidance documents for new and existing substances for assessing the risks of nanomaterials.* Adopté lors de la 19^{ème} réunion plénière des 21 et 22 juin 2007, après consultation publique
- CSRSEN (Comité scientifique des risques sanitaires émergents et nouveaux).** 2007b. *Opinion on the scientific aspects of the existing and proposed definitions relating to products of nanoscience and nanotechnologies,* adopté le 29 novembre 2007.
- Currall, S.C., King, E.B., Lane, N., Madera, J. & Turner, S. 2006. What drives public acceptance of nanotechnology? *Nature Nanotechnol.*, 1: 153–155.
- Cyras, V.P., Manfredi, L.B., Ton-That, M.-T. & Vázquez, A. 2008. Physical and mechanical properties of thermoplastic starch/montmorillonite nanocomposite films. *Carbohydr. Polym.*, 73:55–63.
- Davis, J.M. 2007. How to assess the risks of nanotechnology: learning from past experience. *J. Nanosci. Nanotech.*, 7: 402–409.
- De Jong, W.H., Hagens, W.I., Krystek, P., Burger, M.C., Sips, A.J. & Geertsma, R.E. 2008. Particle size-dependent organ distribution of gold nanoparticles after intravenous administration. *Biomaterials*, 29(12): 1912–1919.
- Defra (Department for Environment, Food and Rural Affairs).** 2007. Characterising the potential risks posed by engineered nanoparticles – a second UK Government research report. Londres, HM Government. www.defra.gov.uk
- des Rieux, A., Fievez, V., Garinot, M., Schneider, Y.J. & Preat, V. 2006. Nanoparticles as potential oral delivery systems of proteins and vaccines: a mechanistic approach. *J. Control. Release*, 116(1): 1–27.
- Donaldson, K. & Borm, P. 2004. Particle and Fibre Toxicology, a new journal to meet a real need. *Part. Fibre Toxicol.*, 1(1): 1.
- Donaldson, K., Aitken, R., Tran, L., Stone, V., Duffin, R. & Forrest, G., *et al.* 2006. Carbon nanotubes: a review of their properties in relation to pulmonary toxicology and workplace safety. *Toxicol. Sci.*, 92: 5–22.
- Donaldson, K., Stone, V., Clouter, A., Renwick, L. & MacNee, W. 2001. Ultrafine particles. *Occup. Environ. Med.*, 58(3): 211–216. 199.
- Douglas, M. & Wildavsky, A.B. 1982. *Risk and culture: An essay on the selection of technical and environmental dangers.* Berkeley, University of California Press.

- Douglas, M.** 1992. *Risk and blame: essays in cultural theory*. London, New York, Routledge.
- Douglas, M.** 1996. *Thought and style: critical essays on good taste*. Londres, Sage Publications. 240 pages.
- Duffin, R., Clouter, A., Brown, D., Tran, C.L., MacNee, W., Stone, V. & Donaldson, K.** 2002. The importance of surface area and specific reactivity in the acute pulmonary inflammatory response to particles. *Ann. Occup. Hyg.*, 46(Suppl 1): 242–245.
- DuPont.** 2007. *NanoRisk framework case study. DuPont light stabilizer*. Disponible à l'adresse: <http://nanoriskframework.org/page.cfm?tagID=1326>. Consulté le 6 mai 2009.
- ECETOC (Centre d'écotoxicologie et de toxicologie de l'industrie chimique européenne).** 2006. *Synthetic amorphous silica*. Rapport JACC, No. 51, CAS No. 7631-86-9.
- EFSA (Autorité européenne de sécurité des aliments)** 2008. *Opinion: Safety of synthetic lycopene: Scientific Opinion of the Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (Question No EFSA-Q-2007-119)*, adopté le 10 avril 2008.
- EFSA (Autorité européenne de sécurité des aliments)** 2009. *Scientific Opinion on 'The Potential Risks Arising from Nanoscience and Nanotechnology on Food and Feed Safety'*, Scientific Opinion of the Scientific Committee, adopté le 10 février 2009, *EFSA J.*, 958: 1–39.
- ETC Group.** 2004. *Food Packaging Using Nanotechnology Methods: an Overview of 'Smart Packaging' and 'Active Packaging'*. <http://www.azonano.com/Details.asp?ArticleID=1317>
- FAO.** 2006. *Analyse des risques relatifs à la sécurité sanitaire des aliments: Guide à l'usage des autorités nationales responsables de la sécurité sanitaire des aliments*. Étude FAO Alimentation et nutrition 87. Rome, OMS et FAO. Disponible à l'adresse: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a0822f/a0822f.pdf>
- FAO/OMS.** 1995a. *Application de l'analyse des risques dans le domaine des normes alimentaires*. Rapport de la Consultation mixte d'experts FAO/OMS. 1995b. Consultation mixte d'experts, Genève, Suisse, 13-17 mars 1995. pages 1–43, OMS/FNU/FOS/95.3. <http://www.who.int/foodsafety/publications/micro/en/march1995.pdf>
- FAO/OMS.** 1997. *Gestion des risques et salubrité des aliments*. Rapport d'une consultation mixte FAO/OMS, Rome, Italie, 27-31 janvier 1997, Étude FAO Alimentation et nutrition 65 1-32. Rome, FAO. <http://www.fao.org/docrep/W4982F/W4982F00.htm>
- FAO/OMS.** 2006. Étude FAO alimentation et nutrition 87: Analyse des risques relatifs à la sécurité sanitaires des aliments. <http://www.fao.org/docrep/010/a0822f/a0822f00.htm>
- FDA.** 2007. *Nanotechnology task force report*. <http://www.fda.gov/ScienceResearch/SpecialTopics/Nanotechnology/NanotechnologyTaskForceReport2007/default.htm>

- Feynman, R. 1959 *There's plenty of room at the bottom*. Disponible à l'adresse: www.its.caltech.edu/~feynman/plenty.html
- Finucane, M. L., Alhakami, A., Slovic, P. & Johnson, S. M. 2000. The affect heuristic in judgments of risks and benefits. *J. Behav. Dec. Making*, 13: 1–17.
- Fischhoff, B., Slovic, P., Lichtenstein, S., Read, S. & Combs, B. 1978. How safe is safe enough? A psychometric study of attitudes towards technological risks and benefits. *Policy Sci.*, 9(2): 127–152.
- Florence, A.T. 1997. The oral absorption of micro- and nanoparticulates: neither exceptional nor unusual. *Pharm. Res.*, 14: 259–266.
- Florence, A.T. 2005. Nanoparticle uptake by the oral route: Fulfilling its potential? *Drug Disc. Today Tech.*, 2(1): 75–81.
- Food Safety Authority of Ireland.** 2008. *The relevance for food safety of applications of nanotechnology in the food and feed industries*. Dublin, Food Safety Authority of Ireland. 88 pages
- Frederiksen, H. K., Kristensen, H. G. & Pedersen, M. 2003. Solid lipid microparticle formulations of the pyrethroid gamma-cyhalothrin-incompatibility of the lipid and the pyrethroid and biological properties of the formulations. *J. Control. Release*, 86(2-3): 243–52.
- Fujita, Y. 2006. Perception of nanotechnology among general public in Japan. *Asia Pacific Nanotech Weekly*, 4(6).
- Gardea-Torresdey, J.L., Gomez, E., Peralta-Videa, J., Parsons, J.G., Troiani, H.E. & Jose-Yacaman, M. Alfalfa sprouts: a natural source for the synthesis of silver nanoparticles. *Langmuir*, 19: 1357–1361.
- Gardea-Torresdey, J.L., Parsons, J.G., Dokken, K., Peralta-Videa, J., Troiani, H.E., Santiago, P. & Jose-Yacaman, M. 2002. Formation and growth of Au nanoparticles inside live alfalfa plants. *Nano Lett.*, 2: 397–401.
- Garland, A. (ed). 2004. *Nanotechnology in plastics packaging. Commercial applications in nanotechnology*. Royaume-Uni, Pira International Limited UK. Pages 14 -63.
- Gaskell, G., Ten Eyck, T., Jackson, J. & Veltri, G. 2005. Imagining nanotechnology: cultural support for technological innovation in Europe and the United States. *Public Underst. Sci.*, 14(1): 81–90.
- Gatti, A S. & Montanari, S. 2008. *Nanopathologies: The health impact of nanoparticles*. Singapore, PanStanford Publishing . Pages 1–298.
- Gatti, A., Kirkpatrick, J., Gambarelli, A., Capitani, F., Hansen, T., Eloy, R. & Clermont, G. 2008b. ESEM evaluations of muscle/nanoparticles interface in a rat model. *J. Material Sci. Med.*, 19(4): 1515–1522.
- Gatti, A.M., Ballestri, M. & Cappelli, G. 2008a. *Nanoparticles: potential toxins for the organism and the kidney ? Critical care nephrology, Basic physiology*, 2nd edition. Philadelphia, États-Unis: Elsevier, pages 205–218.
- Gatti, A.M., Tossini, D., Gambarelli, A., Montanari, S. & Capitani, F. 2009. Investigation of the presence of inorganic micro- and nanosized contaminants in bread and biscuits by environmental scanning electron microscopy. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 49(3): 275–282.

- Gavelin, K., Wilson, R. & Doubleday, R.** 2007. *Democratic technologies?* The final report of the Nanotechnology Engagement Group (NEG), Involve 2007.
<http://83.223.102.125/involvenew/mt/>
- Gigerenzer, G.** 2003. *Reckoning with risk: learning to live with uncertainty*. Penguin. London. 320 pages.
- Graveland-Bikker, J.F. & de Kruif, C.G.** 2006. Unique milk protein-based nanotubes: Food and nanotechnology meet. *Trends Food Sci. Technol.* 17: 196–203.
- Groves, K.** 2008. Potential benefits of micro and nano technology for the food industry: does size matter? *New Food Mag.*, 4: 49–52.
- Guston, D. & Sarewitz, D.** 2002. Real-time technology assessment. *Technol. Soc.*, 23: 93–109.
- Gyawali, D.** 2001. *Water in Nepal*. Katmandou, Hymal Books. 280 pages.
- Hagens, W.I., Oomen, A.G., de Jong, W.H., Cassee, F.R. & Sips, A.J.** 2007. What do we (need to) know about the kinetic properties of nanoparticles in the body? *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, 49(3): 217–229.
- Han, M., Gao, X., Su, J.Z. & Nie, S.** 2001. Quantum-dot-tagged microbeads for multiplexed optical coding of biomolecules. *Nat. Biotechnol.*, 19: 631–635.
- Handy, R.D., Henry, T.B., Scown, T.M., Johnston, B.D. & Tyler, C.T.** 2008. Manufactured nanoparticles: their uptake and effects on fish – a mechanistic analysis. *Ecotoxicology*, 17: 396–409.
- Hansen T., Clermont G., Alves, A., Eloy, R., Brochhausen, C., Boutrand, J.P., Gatti, A. & Hanssen, L. & van Est, R.** 2004. *The double message of nanotechnology: research into rising public perceptions*. La Haye, Rathenau Institute, octobre 2004.
- Harris, A.T. & Bali, R.** 2008. On the formation and extent of uptake of silver nanoparticles by live plants. *J. Nanopart. Res.*, 10: 691–695.
- Hart Research Associates.** 2006. *Report findings, conducted on behalf of the Woodrow Wilson International Center for Scholars, project on emerging nanotechnologies*. New York, Woodrow Wilson International Center for Scholars.
- Hart Research Associates.** 2007. *Awareness of and attitudes toward nanotechnology and federal regulatory agencies: a report of findings based on a national survey of adults*. Rédigé dans le cadre du Project on Emerging Nanotechnologies. New York, Woodrow Wilson International Center for Scholars.
- Helmut Kaiser Consultancy.** 2004. *Study: nanotechnology in food and food processing industry worldwide 2003–2006–2010–2015*. Disponible à l'adresse: www.hkc22.com/Nanofood.html
- Hillery, A.M., Jani, P.U. & Florence, A.T.** 1994. Comparative, quantitative study of lymphoid and non-lymphoid uptake of 60 nm polystyrene particles. *J. Drug Target.*, 2(2): 151–156.
- Hillyer, J.F. & Albrecht, R.M.** 2001. Gastrointestinal persorption and tissue distribution of differently sized colloidal gold nanoparticles. *J. Pharmaceut. Sci.*, 90(12): 1927–1936.
- Hoet, P.H.M., Brüske-Hohlfeld, I. & Salata, O.V.** 2004. Nanoparticles: known and unknown health risks. *J. Nanobiotechnol.*, 2: 12.

- Hoffman, A.** 2009. Shades of green. *Stanford Soci. Innov. Rev.*, Spring: 40–49.
- Holbrook, D., Murphy, K., Morrow, J. & Cole, K.** 2008. Trophic transfer of nanoparticles in a simplified invertebrate food web. *Nature Nanotechnol.*, 3: 352–355. <http://www.greenpeace.org.uk/files/pdfs/migrated/MultimediaFiles/Live/FullReport/7249.pdf>
- ICON (International Council on Nanotechnology).** 2008. *Toward predicting nano-biointeractions: an international assessment of nanotechnology environment, health and safety research needs*. Rice University, Houston, Texas: International Council on Nanotechnology, Number 4, May 1, 2008. http://cohesion.rice.edu/CentersAndInst/ICON/emplibrary/ICON_RNA_Report_Full.pdf
- IFST (Institute of Food Science and Technology Trust Fund).** 2006. *Nanotechnology information statement*. www.ifst.org/uploadedfiles/cms/store/attachments/nanotechnology.pdf. Consulté le 5 juillet 2009.
- IRGC.** 2005. *Risk Governance toward an integrative framework*. White Paper No. 1. Genève.
- IRGC.** 2006. *Nanotechnology and risk governance*. White Paper No. 2. Genève.
- IRGC.** 2008. *Risk governance of nanotechnology applications in food and cosmetics*. Geneva.
- ISO.** 2008. *Nanotechnologies -- Terminologie et définitions relatives aux nano-objets -- Nanoparticule, nanofibre et nanofeuillet*. Numéro de référence: ISO/TS 27687:2008. Genève: Organisation internationale de normalisation .
- Jani, P., Halbert, G.W., Langridge, J. & Florence, A.T.** 1990. Nanoparticle uptake by the rat gastrointestinal mucosa: quantitation and particle size dependency. *J. Pharm. Pharmacol.*, 42(12): 821–826.
- Jani, P.U., McCarthy, D.E. & Florence, A.T.** 1994. Titanium dioxide (rutile) particle uptake from the rat GI tract and translocation to systemic organs after oral administration. *Int. J. Pharmaceut.*, 105(2): 157–168.
- JECFA.** 1995. Évaluation de certains additifs alimentaires et contaminants. Quarante-quatrième rapport du Comité mixte FAO-OMS d'experts des additifs alimentaires, Genève.
- John, T.A., Vogel, S.M., Minshall, R.D., Ridge, K., Tiruppathi, C. & Malik, A.B.** 2001. Evidence for the role of alveolar epithelial gp60 in active transalveolar albumin transport in the rat lung. *J. Physiol.* 533(Pt 2): 547–559.
- John, T.A., Vogel, S.M., Tiruppathi, C., Malik, A.B. & Minshall, R.D.** 2003. Quantitative analysis of albumin uptake and transport in the rat microvessel endothelial monolayer. *Am. J. Physiol. Lung Cell Mol. Physiol.* 284 .(1): L187–L196.
- Ju-Nam, Y. & Lead, J.R.** 2008. Manufactured nanoparticles: An overview of their chemistry interactions and potential environmental implications. *Sci. Total Environ.*, 400: 396–414.
- Kahan, D., Slovic, P., Braman, D., Gastil, J. & Cohen, G.** 2007b. *Nanotechnology risk perceptions: the influence of affect and values*. Cultural Cognition Project at Yale and Project on Emerging Nanotechnologies at the Woodrow Wilson International Center for Scholars, March 2007.

- Kahan, D., Slovic, P., Braman, D., Gastil, J., Cohen, G. & Kyser, D.** 2008. *Biased assimilation, polarization, and cultural credibility: an experimental study of nanotechnology risk perceptions*. Project on Emerging Nanotechnologies Brief 3, Woodrow Wilson International Center for Scholars, février 2008.
- Kahan, D.M., Slovic, P., Braman, D., Gastil, J. & Cohen, G.L.** 2007a. *Affect, values, and nanotechnology risk perceptions: an experimental investigation*. Cultural Cognition Project Working Paper No. 22 (Last accessed through the Social Science Research Network at: <http://ssrn.com/abstract=968652> on 19 May 2009).
- Kasperson, R.E., Renn, O., Slovic, P., Brown, H.S., Emel, J., Goble, R., Kasperson, J.X. & Ratnick, S.** 1988. The social amplification of risk: a conceptual framework. *Risk Analysis*, 8: 177–187.
- Kim, J.S., Kim, J.S., Cho, H.S., Rha, D.S., Kim, J.M., Park, J.D., Choi, B.S., Lim, R., Chang, H.K., Chung, Y.H., Kwon, I.H., Jeong, J., Han, B.S. & Yu, I.J.** 2008. Twenty-eight-day oral toxicity, genotoxicity, and gender-related tissue distribution of silver nanoparticles in Sprague-Dawley rats. *Inhal. Toxicol.* 20(6): 575–583.
- Kirkpatrick, J.** 2006. Biological tolerance of different materials in bulk and nanoparticulate form in a rat model: Sarcoma development by nanoparticles. *J. R. Soc. Interface*, 3: 767–775.
- Kishimoto, A.** 2007. *Public acceptance and commercialization of nanotechnology products in Japan*. Présenté lors de la réunion annuelle de 2007 de la Society for Risk Analysis pour le National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST).
- Kishimoto, A.** 2008. *Current status of public acceptance and risk governance of nanomaterials in Japan*. Présenté lors du 2^{ème} Congrès mondial Risk Society for Risk Analysis, Guadalajara, Mexico.
- Kleinman, D. and Powell, M. (eds)** 2005. *Madison Area Citizen Consensus Conference on Nanotechnology*. Madison, WI, 24 April 2005, University of Wisconsin.
- Kumar, S.R., Ahmed, V.P.I., Parameswaran, V., Sudhakaran, R., Babu, V.S. & Hameed, A.S.** 2008. Potential use of chitosan nanoparticles for oral delivery of DNA vaccine in Asian sea bass (*Lates calcarifer*) to protect from *Vibrio (Listonella) anguillarum*. *Fish & Shellfish Immunol.*, 25: 47–56.
- Kuzma, J. & VerHage, P.** 2006. *Nanotechnology in agriculture and food production: anticipated applications*. Project on Emerging Nanotechnologies. Washington DC, Woodrow Wilson International Center for Scholars, September 2006
- Kuzma, J., Romancheck, J. & Kokotovich, A.** 2008. Upstream oversight assessment for agrifood nanotechnology. *Risk Anal.*, 28: 1081–1098.
- Landry, F.B., Bazile, D.V., Spenlehauer, G., Veillard, M. & Kreutera, J.** 1998. Peroral administration of 14C-poly(D,L-lactic acid) nanoparticles coated with human serum albumin or polyvinyl alcohol to guinea pigs. *J. Drug Target*. 6(4): 293–307.
- Lee, J.** 2006. *Global nanotechnology advocacy by NGOs*. Programme on NGOs and Civil Society, Center for Applied Studies in International Negotiations.
- Lewinski, N., Colvin, V. & Drezek, R.** 2008. Cytotoxicity of nanoparticles. *Small*, 4(1): 26–49.

- Lin, D. & Xing, B.** 2009. Root uptake and phytotoxicity of ZnO nanoparticles. *Environ. Sci. Technol.*, 42(15): 5580–5585.
- Liu, F., Wen, L.X., Li, Z.Z., Yu, W., Sun, H.Y. & Chen, J.F.** 2006. Porous hollow silica nanoparticles as controlled delivery system for water-soluble pesticide. *Mat. Res. Bull.*, 41(12): 2268–2275.
- Luykx, D.M.A.M., Peters, R.J.B., van Ruth, S.M., Bouwmeester, H.** 2008. A review of analytical methods for the identification and characterization of nano delivery systems in food. *J. Agric. Food Chem.*, 56(18): 8231–8247.
- Lynch, I. & Dawson, K. A.** 2008. Protein-nanoparticle interactions. *Nano Today*, 3(1-2): 40–47.
- Lynch, I., Dawson, K. A. & Linse, S.** 2006. Detecting cryptic epitopes created by nanoparticles. *Sci*
- MacKenzie, A.A.** 2007. Perspectives d'avenir: les applications potentielles des nanotechnologies en santé animale. *Bulletin OIE*, 4: 11–14.
- Maclurcan, D.A.** 2009. Southern roles in global nanotechnology innovation: perspectives from Thailand and Australia. *Nanoethics*, publication en ligne. <http://www.springerlink.com/content/0262rx742qu49507/fulltext.pdf>
- Macoubrie, J.** 2005. *Informed public perceptions of nanotechnology and trust in government*. New York, Woodrow Wilson International Center for Scholars.
- Maynard, A.D. & Kuempel, E.D.** 2005. Airborne nanostructured particles and occupational health. *J. Nanopart. Res.*, 7(6): 587–614.
- Maynard, A.D.** 2002. Estimating aerosol surface area from number and mass concentration measurements. *Ann. Occup. Hyg.*, 47(2): 123–144.
- Maynard, A.D.** 2006. *Nanotechnology: A research strategy for addressing risk*. Washington, DC: Project on Emerging Nanotechnologies.
- Morris, V. J.** 2008. Nanotechnology in the food industry. *New Food Mag.*, 4: 53–55
- Mukal, D., Sexena, N. & Dwivedi, P.D.** 2009. Emerging trends of nanoparticles application in food technology: safety paradigms. *Nanotoxicology*, 3(10): 10–18.
- Murr, L.E.** 2009. Nanoparticulate materials in antiquity: The good, the bad and the ugly. *Mat. Charac.*, 60: 261–270.
- Nano Jury UK.** 2005. *Our provisional recommendations, September 2005*.
- National Science and Technology Council, Committee on Technology, Subcommittee on Nanoscale Sceince, Engineering and Technology, Nanotechnology, Environmental and Health Implications (NEHI) Working Group.** 2008. *National nanotechnology initiative, strategy for environmental health and safety research*. Washington, DC: National Science and Technology Council. Disponible à l'adresse: http://www.nano.gov/NNI_EHS_Research_Strategy.pdf
- Nel, A., Xia, T., Madler, L. & Li, N.** 2006. Toxic potential of materials at the nanolevel. *Science*, 311(5761): 622–627.
- NISENet.** 2009. NISE Network Forum: risks, benefits, and who decides? E. Kunz, C. Reich, and A. Lindgren-Streicher, eds. Disponible sur internet à l'adresse: <http://www.nisenet.org/catalog/assets/documents/nise-network-forum-quotrisks-benefits-who-decidesquot>

- Nowack, B. & Bucheli, T.** 2007. Occurrence, behavior and effects of nanoparticles in the environment. *Environ. Poll.*, 150: 5–22.
- NRC.** 1996. *Understanding risk: informing decisions in a democratic society*. www.nap.edu. Washington, D.C., États-Unis
- NRC.** 2006. *A matter of size: a triennial review of the US National Nanotechnology Initiative*. National Research Council, US National Academies, Washington DC, National Academy Press.
- NRC.** 2008. Review of the Federal Strategy for nanotechnology-related environmental, health, and safety research. Washington DC, National Academy Press.
- O’Neil, M. & Ackland, R.** 2006. *The structural role of nanotechnology – opposition to online environmental activist networks*. Présenté lors de l’International Sunbelt Social Network Conference, Vancouver, Canada.
- Oberdörster, G., Maynard, A., Donaldson, K., Castranova, V., Fitzpatrick, J., Ausman, K., Carter, J., Karn, B., Kreyling, W., Lai, D., Olin, S., Monteiro-Riviere, N., Warheit, D. & Yang, H.** 2005a. Principles for characterizing the potential health effects from exposure to nanomaterials: elements of a screening strategy. *Particle Fibre Toxicol.*, 2: 8.
- Oberdörster, G., Oberdörster, E. & Oberdörster, J.** 2005b. Nanotoxicology: an emerging discipline evolving studies of ultrafine particles. *Environ. Health Perspect.*, 113(7): 823–839.
- Oberdorster, G., Stone, V. & Donaldson, K.** 2007. Toxicology of nanoparticles: a historical perspective. *Nanotoxicology*, 1(1): 2–25.
- OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques)** 2008a. Manufactured nanomaterials: Programme de travail 2006 – 2008. Dans *OECD Environment, Health and Safety Publications. Series on the safety of manufactured nanoparticles*. Numéro 4. Pages 1- 17 février 2008. ENV/JM/MONO(2008)2. Paris, OCDE. www.oecd.org
- OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques)** 2008b. List of manufactured nanomaterials and list of endpoints for phase one of the OECD testing programme. Dans *OECD Environment, Health and Safety Publications. Series on the safety on manufactured nanomaterials*. Numéro 6. Pages 1–13, 7 juillet 2008. ENV/JM/MONO(2008)13/REV. Paris, OCDE. www.oecd.org
- Ochoa, J., Irache, J.M., Tamayo, I., Walz, A., DelVecchio, V.G. & Gamazo, C.** 2007. Protective immunity of biodegradable nanoparticle-based vaccine against an experimental challenge with *Salmonella Enteritidis* in mice. *Vaccine*, 25: 4410–4419.
- OMS.** 1995. Evaluation of certain food additives and contaminants (Quarante-quatrième rapport du Comité mixte FAO-OMS d’experts des additifs alimentaires). WHO Technical Report Series, No. 859.
- OMS.** 2007. Evaluation of certain food additives and contaminants (Soixante-septième rapport du Comité mixte FAO-OMS d’experts des additifs alimentaires). WHO Technical Report Series, No. 940.
- Pan, J.-F. & Wang, W.-X.** 2004. Differential uptake of dissolved and particulate organic carbon by the mussel *Perna viridis*. *Limnol. Oceanogr.*, 49(6): 1980–1991.

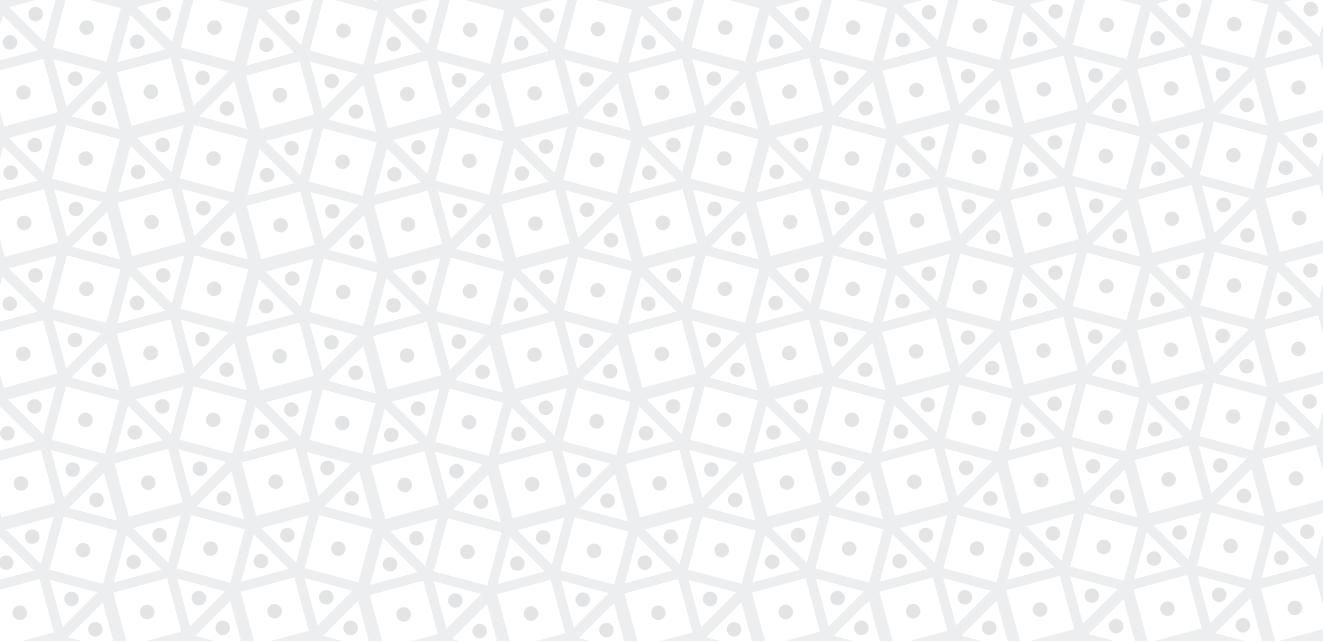
- Panté, N. & Kann, M. 2002. Nuclear pore complex is able to transport macromolecules with diameters of ~39 nm. *Mol. Biol. Cell.*, 13(2): 425–34.
- Park, B.K., Kim, D., Jeong, S., Moon, J. & Kim, J.S. 2007. *Thin solid films*, 7/16. Vol. 515, No. 19, pages 7706–7711.
- Park, K.H. (2006) Dépôt de brevet: WPI ACC NO: 2006-489267/200650 *Preparation method antibacterial wheat flour by using silver nanoparticles*. Corée
- Parr, D. 2006. Survey response. In *Survey on nanotechnology governance*, Roco, M.C., Litten, E. (eds) Groupe de travail IRGC sur la nanotechnologie. Pages 46-48.
- Partenariat sur les nanotechnologies Environmental Defense Fund–DuPont.** 2007. Nanorisk framework. Disponible à l'adresse <http://www.nanoriskframework.com>, consulté le 4 mars 2009.
- Peters K, Unger, R., Gatti, A., Sabbioni, E., Gambarelli, A. & Kirkpatrick, J. 2006. *Impact of ceramic and metallic nanoscaled particles on endothelial cell functions in vitro*. Nanotechnologies for the Life Sciences, Vol. 5 Nanomaterials- Toxicity, Health and Environmental Issues, ed. Challal, S.S., Kumar, Weinheim, DE: R. Wiley–VCH Verlag GmbH &Co. KGaA 2006. ISBN: 3-527-31385-0, vol 5, pages 108–125.
- Peters, K., Unger R.E., Gatti, A.M., Sabbioni, E., Tsaryk, R. & Kirkpatrick, C.J. 2007. Metallic nanoparticles exhibit paradoxical effects on oxidative stress and pro-inflammatory response in endothelial cells *in vitro*. *Int. J. Immunopathol. Pharmacol.*, 20(4): 685–695
- Pidgeon, N., Kasperson, R. & Slovic, P. 2003. *The social amplification of risk*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Powell, J.J., Harvey, R.S.J., Ashwood, P., Wolstencroft, R., Gershwin, M.E. & Thompson, R.P.H. 2000. Immune potentiation of ultrafine dietary particles in normal subjects and patients with inflammatory bowel disease. *J. Autoimmunity*, 14: 99–105.
- Powers, K., Brown, S., Krishna, V., Wasdo, S., Moudgil, B. & Roberts, S. 2006. Research strategies for safety evaluation of nanomaterials. Part VI. Characterization of nanoscale particles for toxicological evaluation. *Toxicol. Sci.*, 90(2): 296–303.
- Priest, S. 2006. The North American opinion climate for nanotechnology and its products: opportunities and challenges. *J. Nanopart. Res.*, 8: 563–568.
- Roco, M.C. & Bainbridge, W.S. (eds) 2001. *Societal implications of nanoscience and nanotechnology*. Boston, Kluwer Academic Publishers. Pages 3–4.
- Rose, J., Thill, A. & Brant, J. 2007. Methods for structural and chemical characterization of nanomaterials. *Dans: Environmental nanotechnology. Applications and impacts of nanomaterials*. New York, NY: McGraw Hill, ISBN: 9780071477505, pages 105–154.
- Roszek, B., de Jong, W. & Geertsma, R. 2005. *Nanotechnology in medical applications: State-of-the-art in materials and devices*. RIVM report. 265001001/2005. Pays-Bas: National Institute for Public Health and the Environment.
- Rowe, G. & Frewer, L. 2000. Public participation methods: a framework for evaluation. *Sci. Technol. Hum Values*, 25: 3.

- Royal Society.** 2004. *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*. Juillet 2004. Disponible à l'adresse: <http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm>
- Sanguansri, P. & Augustin, M.A.** 2006. Nanoscale materials development – a food industry perspective. *Trends Food Sci. Tech.*, 17: 547–556.
- Schneider, J.C.** 2007. Can microparticles contribute to inflammatory bowel disease: innocuous or inflammatory? *Exp. Biol. Med.*, 232: 1–2.
- Schulz, C., Obermüller-Jevic, U.C., Hasselwander, O., Bernhardt, J., Biesalski, H.K.** 2006. Comparison of the relative bioavailability of different coenzyme Q10 formulations with a novel solubilizate (Solu Q10). *Int. J. Food. Sci. Nutr.*, 57(7-8): 546–55.
- Shatkin, J.A.** 2008. *Nanotechnology health and environmental risks*. Boca Raton, FL, CRC Press.
- Siegrist, M., Cousin, M-E., Kastenholz, H. & Wiek, A.** 2007. Public acceptance of nanotechnology foods and food packaging: The influence of affect and trust. *Appetite*, 49: 459–466.
- Simon, P. & Joner, E.** 2008a. Conceivable interactions of biopersistent nanoparticles with food matrix and living systems following from their physicochemical properties. *J. Food Nutr. Res.*, 47(2): 51–59.
- Simon, P., Chaudhry, Q. & Bakoš, D.** 2008. Migration of engineered nanoparticles from polymer packaging to food – a physicochemical view. *J. Food Nutr. Res.*, 47(3): 105–113.
- Singh, R., Pantarotto, D., Lacerda, L., Pastorin, G., Klumpp, C., Prato, M., Bianco, A. & Kostarelos, K.** 2006. Tissue biodistribution and blood clearance rates of intravenously administered carbon nanotube radiotracers. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 103(9): 3357–3362.
- Sjoberg, L.** 2006. *Myths: The psychometric paradigm and how they can misinform risk communication*. SSE/EFI Working Paper Series in Business Administration No. 2006:10.
- Slovic, P., Fischhoff, B. & Lichenstein, S.** 1985. Characterizing perceived risk. Dans R.W. Kates, C. Hohenemser & J.X. Kasperson, eds. *Perilous progress: hazards of technology*. Boulder, CO, Westview Press.
- Slovic, P., Flynn, J. H. & Layman, M.** 1991. Perceived risk, trust, and the politics of nuclear waste. *Science*, 254: 1603–1607.
- Smolander, M., Hurme, E., Koivisto, M. & Kivinen, S.** 2004. *PCT International Patent Application* WO 2004/102185 A1, 2004.
- Sorrentino, A., Gorrasí, G. & Vittoria, V.** 2007. Specialty Biotech Thailand. *Trends Food Sci. Technol.*, 18: 84–95. www.sbtthai.com/profile.html
- Sozer, N. & Kokini, J.L.** 2009. Nanotechnology and its applications in the food sector. *Trends Biotechnol.*, 27(2): 82–89.
- Spriull, J.C.** 2006. *Novel pre-harvest approaches to control enteric food-borne bacteria in poultry*. M.S. thesis, North Carolina State University. 102 pages
- STKE**, 327: 14.



- Sustech GMBH & Co. 2003. Dépôt de brevet EP20030748025, *Sweet containing calcium*, Allemagne.
- Sustech GMBH & Co. 2004. Dépôt de brevet international PCT/EP2003/010213 *Coated chewing gum*, Allemagne.
- Szentkuti, L. 1997. Light microscopical observations on luminally administered dyes, dextrans, nanospheres and microspheres in the pre-epithelial mucus gel layer of the rat distal colon. *J. Contr. Rel.*, 46(3): 233–242.
- TA Swiss. 2006. *Les nanotechnologies en Suisse: Rapport du processus de dialogue publifocus «Les nanotechnologies et leur importances pour la santé et l'environnement»*. Suisse, Centre d'évaluation des choix technologiques. http://www.ta-swiss.ch/a/nano_pfna/2006_TAP8_Nanotechnologien_f.pdf
- Tang, S., Zou, P., Xiong, H. & Tang, H. 2008. Effect of nano-SiO₂ on the performance of starch/polyvinyl alcohol blend films. *Carbohydr. Polym.*, 72: 521–526.
- Taylor, M. R. 2008. *Assuring the safety of nanomaterials in food packaging: The regulatory process and key issues*. Washington DC, Projet sur les nouvelles nanotechnologies.
- Thomas, K. & Sayre, P. 2005. Research strategies for safety evaluation of nanomaterials, Part I: evaluating the human health implications of exposure to nanoscale materials. *Toxicol. Sci.*, 87(2): 316–321.
- Thompson, M., Ellis, R. & Wildavsky, A. 1990. *Cultural theory*. Boulder, CO, Westview Press. 296 pages.
- Tiede, K., Boxall, A.B.A., Tear, S.P., Lewis, J., David, H. & Hassellöv, M. 2008. Detection and characterization of engineered nanoparticles in food and the environment. *Food Additives & Contaminants, Part A: Chemistry, analysis, control, exposure & risk assessment*, 25(7): 795–821.
- USDA FSIS. 2001. *Risk assessment of the public health impact of Escherichia coli O157:H7 in ground beef*. Préparé par l'équipe d'évaluation des risques de l'*Escherichia coli* O157:H7. Disponible sur internet à l'adresse: <http://www.fsis.usda.gov/OPPDE/rdad/FRPubs/00-023N/00-023NReport.pdf>
- Vartiainen, J., Rättö, M. & Paulussen, S. 2005a. Antimicrobial activity of glucose oxidase-immobilized plasma-activated polypropylene films. *Packaging Technol. Sci.*, 18: 243–251.
- Vartiainen, J., Rättö, M., Tapper, U., Paulussen, S. & Hurme, E. 2005b. Surface modification of atmospheric plasma activated BOPP by immobilizing chitosan. *Polym. Bull.*, 54: 343–352.
- Wajda, R., Zirkel, J. & Schaffer, T. 2007. Increase of bioavailability of Coenzyme Q10 and Vitamin E. *J. Medic. Food*, 10: 731–734.
- Wang, J., Zhou, G., Chen, C., Yu, H., Wang, T., Ma, Y., Jia, G., Gao, Y., Li, B., Sun, J., Li, Y., Jiao, F., Zhao, Y. & Chai, Z. 2007a. Acute toxicity and biodistribution of different sized titanium dioxide particles in mice after oral administration. *Toxicol. Lett.*, 168(2): 176–185.

- Wang, L., Li, X., Zhang, G., Dong, J. & Eastoe, J. 2007b. Oil-in-water nanoemulsions for pesticide formulations. *J. Colloid Interface Sci.*, 314(1): 230–235.
- Weiss, J., Takhistov, P. & McClements, D.J. 2006. Functional materials in food nanotechnology. *J. Food Sci.*, 71(9): R107–R116.
- Wilsdon, J. & Willis, R. 2004. *See-through science*. Disponible à l'adresse: www.demos.co.uk Dernière consultation, le 15 décembre 2004.
- Wilsdon, J. 2006. Survey response. In *Survey on nanotechnology governance*. Roco, M.C., Litten, E. (eds), IRGC Working Group on Nanotechnology. Pages 29-32.
- Wilson, M.J. 2003. Clay mineralogical and related characteristics of geophagic materials. *J. Chem Ecol.*, 29(7): 1525–1547.
- Woodrow Wilson International Centre for Scholars. 2009. *The Nanotechnology Consumer Inventory*. Disponible à l'adresse: www.nanotechproject.org/inventories/consumer/
- YingHua, S., ZiRong, X., JianLei, F., CaiHong, H. & MeiSheng, X. 2005. In vitro adsorption of aflatoxin adsorbing nano-additive for aflatoxin B1, B2, G1, G2. *Scientia Agricultura Sinica*, 38(5): 1069–1072.
- Zhang, L., Jiang, Y., Ding, Y., Povey, M. & York, D. 2007. Investigation into the antibacterial behaviour of suspensions of ZnO nanoparticles (ZnO nanofluids). *J. Nanoparticle Res.*, 9(3): 479–489.
- Zhu, H., Han, J., Xiao, J.Q. & Jin, Y. 2008. Uptake, translocation, and accumulation of manufactured iron oxide nanoparticles by pumpkin plants. *J. Environ. Monit.*, 10: 713–717.
- Zhu, X., Zhu, L., Chen, Y. & Tian, S. 2009. Acute toxicities of six manufactured nanomaterial suspensions to *Daphnia*. *J. Nanopart. Res.*, 11: 67–75.



Annexes

Annexe 1: Résumé des conclusions de la réunion du groupe restreint

Réunion du groupe restreint sur les nanotechnologies: Principales conclusions les 14 et 15 mai 2008, siège de la FAO – Rome, Italie

Participants:

Dr Ezzeddine Boutrif, *FAO, Président*

Collaborateurs:

Richard Canady, *Food and Drug Administration, États-Unis*

David Carlander, *Autorité européenne de sécurité des aliments*

Steve Froggett, *Department of Agriculture, États-Unis*

Philippe Martin, *Commission européenne*
Luiz Mattoso, *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brésil*

Vic Morris, *Institute of Food Research, Royaume-Uni*

Brian Priestly, *Centre for Human Health Risk Assessment, Australie*

Alan Reilly, *Food Safety Authority of Ireland, Irlande*

Secrétariat et membre du personnel de la FAO:

Lourdes Costarrica, *FAO*

Gerald Moy, *OMS*

Renata Clarke, *FAO*

Deon Mahoney, *FAO*

Daniela Battaglia, *FAO*

Barbara Burlingame, *FAO*

Annika Wennberg, *FAO*

YongZhen Yang, *FAO*

Kazuaki Miyagishima, *Codex*

Introduction

M. Boutrif accueille les participants au nom de la FAO et les invite à se présenter. L'ordre du jour est présenté et adopté (Annexe 1).

Mme Costarrica fournit aux participants une copie du Cadre FAO/OMS pour la fourniture d'avis scientifiques, de même qu'un exposé général soulignant les principes, les pratiques et les procédures qui sous-tendent la fourniture de ce genre d'avis.

M. Moy accueille les participants au nom de l'OMS et M. Boutrif présente brièvement les objectifs de la réunion du groupe restreint et de la prochaine réunion

d'experts FAO/OMS sur l'application des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture: incidences possibles sur la sécurité alimentaire. Le représentant de l'OMS rappelle aux participants que l'Organisation mondiale de la santé préfère que deux réunions distinctes s'occupent de l'évaluation des risques et de la gestion des risques.

Remarques préliminaires

Les participants échangent leurs points de vue à propos de la direction et de l'avenir de la nanotechnologie, ainsi que sur des questions précises auxquelles il convient de répondre lors de la réunion d'experts. Il s'agit notamment:

- Des applications des nanotechnologies
- Du matériel en contact avec les aliments
- De la méthodologie de l'évaluation des risques
- De la communication sur les risques
- De la différenciation des nanoparticules présentes de façon naturelle de celles manufacturées
- De l'incidence de la nanotechnologie sur l'environnement et de l'introduction des nanomatériaux dans la chaîne alimentaire, par exemple, par le biais de cultures énergétiques
- De la traçabilité et du suivi.

Les participants ont noté qu'il était important que la réunion d'experts conserve une attitude neutre et scientifique à l'égard de cette puissante technologie et des avantages qu'elle pourrait comporter, plutôt que de se concentrer sur des risques et des suspicions de danger sans fondement scientifique.

Thèmes de la réunion d'experts

Au départ, les participants ont suggéré que les quatre principaux thèmes de la réunion d'experts soient:

- 1) les applications de la nanotechnologie,
- 2) les enjeux de l'évaluation des risques,
- 3) les difficultés de la gestion des risques pour la santé et la sécurité publiques, et
- 4) les défis de la transparence et de la communication sur les risques.

Les participants ont souligné que les nanotechnologies étaient des technologies prometteuses aux avantages considérables, tout en reconnaissant qu'on pouvait apprendre des erreurs passées commises lors de l'introduction de nouvelles technologies.

Il est important de comprendre les voies d'exposition et les caractéristiques de l'exposition; les évaluations de l'exposition traditionnelles pourraient ne pas s'appliquer aux nanoparticules. Du reste, certains participants ont formulé des commentaires quant aux applications de la nanotechnologie dans les secteurs agricole et vétérinaire, surtout la voie de transmission au sein d'animaux et la présence probable dans des produits alimentaires.



Les nanomatériaux pourraient être recyclés et ainsi entrer à nouveau dans la chaîne alimentaire. Dans ces cas, des évaluations du cycle de vie pourraient s'avérer nécessaires.

Plus tard, les participants au groupe restreint sont convenus que la réunion d'experts se concentrera sur trois thèmes, à savoir:

- 1) Les applications existantes et envisageables des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture;**
- 2) L'évaluation des risques pour la santé humaine liés à l'utilisation des nanotechnologies et des nanomatériaux dans secteurs de l'alimentation et de l'agriculture; et**
- 3) La mise en place d'un dialogue transparent et constructif entre les parties prenantes.**

Portée et objectifs

99

Portée

L'ampleur de la tâche à laquelle serait confrontée la réunion d'experts a d'abord inquiété les participants, mais ils ont finalement décidé qu'elle adopterait une approche stratégique du sujet, permettant ainsi d'obtenir une vue d'ensemble de la nanotechnologie. Il ne sera pas possible lors de la réunion d'experts d'étudier en détail les instruments réglementaires relatifs à la gestion de la nanotechnologie.

Le groupe restreint a décidé que:

La réunion d'experts portera sur les nanotechnologies existantes et annoncées appliquées aux secteurs de l'alimentation et de l'agriculture, et sur leur incidence possible sur la sécurité sanitaire des aliments le long de la chaîne alimentaire dans son entièreté.

Les participants à la réunion identifieront:

- tous les besoins en matière d'orientations et avis scientifiques supplémentaires;
- les mesures à prendre pour mieux comprendre tous les risques potentiels pour la sécurité sanitaire des aliments liés aux nanotechnologies appliquées aux secteurs de l'alimentation et de l'agriculture (sous forme de «feuille de route»); et
- les autres tâches qui pourraient être requises pour de meilleures évaluation et gestion des risques et une meilleure communication à leur propos.

Les débats se concentreront principalement dans les domaines suivants:

- L'application des nanotechnologies dans la production alimentaire;
- L'application des nanotechnologies dans la transformation alimentaire et l'emballage;
- L'utilisation d'outils de diagnostic, rendus possibles par les nanotechnologies et la nanoscience, dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture; et
- Une base juridique de la sécurité sanitaire des produits alimentaires pour l'utilisation des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture.

Thèmes qui ne seront PAS couverts

La réunion d'experts N'ABORDERA PAS les problèmes de santé et de sécurité au travail que posent l'utilisation et l'application des nanotechnologies dans les domaines de l'alimentation et de l'agriculture. De la même façon, les questions

Appendice 1 de l'Annexe 1.

Réunion du groupe restreint d'experts

les 14 et 15 mai 2008

Siège de la FAO, Rome, Salle Inde (A327/9)

Heure	Activité	Qui ?
Jour 1. Mercredi 14 Mai 2008		
9,00–10,00	Accueil et présentation des participants	
	Message de bienvenue de la part de la FAO – y compris informations sur le Cadre FAO/OMS pour la fourniture d'avis scientifiques et l'Initiative mondiale pour des avis scientifiques concernant les aliments (GIFSA)	Lourdes Costarrica, FAO
	Message de bienvenue de la part de l'OMS	Gerald Moy, OMS
	Message de bienvenue et d'ouverture – Aperçu des objectifs de la réunion du groupe restreint	Ezzeddine Boutrif, FAO
100 Réunion d'experts FAO/OMS sur l'application des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture: incidences possibles sur la sécurité alimentaire	Questions organisationnelles/gestion courante	Secrétariat
10,00–11,00	Remarques préliminaires et échanges de points de vue entre tous les collaborateurs. L'objectif est de mettre en évidence les principaux points liés à l'application des nanotechnologies dans l'alimentation et l'agriculture	Principaux animateurs: Ezzeddine Boutrif et Lourdes Costarrica
11,00–11,30	Pause café	
11,30–12,30	Discussion sur les applications de la nanotechnologie et sur les dangers liés aux nanoparticules	Principal animateur: Deon Mahoney
12,30–13,30	Pause déjeuner	
13,30–15,00	Discussion sur les enjeux que posent l'évaluation des risques et spécifiquement l'évaluation de l'exposition aux nanoparticules dans les aliments	Principal animateur: Gerald Moy
15,30–16,00	Discussion sur les enjeux de la gestion de la santé publique et des risques pour la sûreté liés aux nanoparticules dans l'alimentation et l'agriculture	Principal animateur: Renata Clarke
16,00–16,30	Pause café	
16,30–17,30	Discussion sur les enjeux que posent la transparence et la communication sur les risques des applications de la nanotechnologie dans le secteur agroalimentaire	Principal animateur: Renata Clarke
17,30–18,00	Discussion sur la portée et les objectifs de la réunion d'experts	Principal animateur: Ezzeddine Boutrif
Jour 2. Jeudi 15 mai 2008		
8,30–9,00	Résumé de la première journée – Confirmation de la portée et des objectifs	Ezzeddine Boutrif
9,00–10,00	Sélection des documents de référence	
10,30–10,45	Pause café	
10,45–11,30	Sélection des documents de références	
11,30–12,30	Profile des compétences requises pour la réunion d'experts	
12,30–13,30	Pause déjeuner	
13,30–14,30	Ordre du jour provisoire pour la réunion d'experts – Révision	
14,30–15,00	Appel d'informations – Examen du type d'informations recherchées	
15,00–15,30	Pause café	
15,30–16,30	Étapes suivantes – Participation constante des collaborateurs	FAO
16,30–17,00	Résumé et clôture de la réunion	FAO et OMS



environnementales ne seront pas abordées à moins d'une éventuelle incidence sur la sécurité sanitaire des aliments au travers de la chaîne alimentaire.

Objectifs

- Faire l'inventaire des applications existantes et annoncées des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture, et identifier leurs conséquences potentielles pour la sécurité sanitaire des aliments.
- Envisager les possibilités d'appliquer les méthodes d'évaluation des risques actuelles pour évaluer la sécurité sanitaire des nanomatériaux utilisés dans la chaîne alimentaire, déterminer les outils ou les paramètres supplémentaires nécessaires et identifier toutes les données requises et les lacunes des recherches.
- Identifier et partager les enseignements tirés de la gestion de la sécurité sanitaire des aliments produits et/ou transformés en utilisant des nanotechnologies.
- Conseiller sur les voies et les moyens de promouvoir un dialogue transparent et empreint de confiance entre toutes les parties prenantes.
- Conseiller la FAO et l'OMS à propos de leur éventuel rôle dans la promotion d'une gestion saine des questions de sécurité sanitaire des aliments liées à l'application des nanotechnologies.

Documents de référence

Les participants ont émis un avis sur les ébauches de trois documents de référence pour la réunion d'experts et sur un document portant sur des questions réglementaires que la FAO va rédiger. Les projets de documents doivent ensuite être révisés.

Document 1:

Les participants sont convenus que le document 1 reprendrait la section des définitions contenant les «définitions opérationnelles» à utiliser lors de la réunion d'experts. L'objectif de la réunion d'experts n'est pas de définir ou de proposer des termes «officiels» ayant trait aux nanotechnologies. En revanche, il existe un besoin impérieux de disposer de définitions acceptées au niveau international et il convient que le rapport y réponde.

Document 2:

Le document 2 met en exergue les effets possibles sur la santé humaine des applications de la nanotechnologie et offre un aperçu des questions liées à l'évaluation des risques des nanoparticules afin de répondre aux éventuelles préoccupations relatives à la sécurité sanitaire des aliments grâce à des applications précises identifiées dans le document 1.

Document 3:

Le document 3 analyse les données factuelles disponibles relatives aux inquiétudes et aux perceptions des parties prenantes et formule des recommandations sur les rôles de tous les groupes de parties prenantes à l'égard des applications des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture, compte tenu de la confiance des parties prenantes.

101

Appel d'experts

Les participants ont fourni des avis sur les compétences requises des experts pour participer à la réunion, ceux-ci ont été inclus dans l'appel d'experts de la FAO et de l'OMS.

Appel d'informations

Les participants ont fourni des avis sur le type d'informations requises dans le cadre d'un appel d'informations de la FAO et de l'OMS.

Fin de la réunion: À 17 heures, le jeudi 15 mai 2008.

Annexe 2: Appel d'experts et appels d'informations

Réunion conjointe d'experts FAO/OMS sur l'application des nanotechnologies dans les domaines de l'alimentation et de l'agriculture: Possibles implications pour la sécurité sanitaire des aliments
(du 1er au 5 juin 2009, Siège de la FAO, Rome — Italie)

Appel de candidatures d'experts et Appel d'informations

103

Généralités

Dans le cadre de leurs activités d'«horizon scanning», l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et l'Organisation mondiale de la santé (OMS) ont reconnu la nécessité d'avoir des avis scientifiques sur les incidences des nanotechnologies utilisées dans les domaines de l'alimentation et de l'agriculture, sur la sécurité sanitaire des aliments.

La FAO et l'OMS organisent la Réunion conjointe d'experts pour inventorier les applications existantes et annoncées des nanotechnologies dans les domaines de l'alimentation et de l'agriculture.

Appel de candidatures d'experts

(Date limite de soumission: au plus tard le 9 janvier 2009)

La FAO et l'OMS recherchent à présent des candidats pour établir une liste d'experts répondant aux exigences indiquées ci-après, et disposer de connaissances et d'expériences essentielles sur l'utilisation des nanotechnologies dans le secteur de l'alimentation et de l'agriculture, et sur l'identification et l'évaluation des risques potentiels.

Qualifications exigées

Exigences générales

Pour être inscrits sur la liste d'experts, les candidats devront remplir les conditions ci-après:

- Diplôme d'études universitaires approfondies en chimie analytique, chimie organique, biochimie, chimie physique, microbiologie, technologie alimentaire, science alimentaire, nutrition, toxicologie, agronomie, épidémiologie, santé publique, science vétérinaire, sciences sociales, ou autres disciplines pertinentes;
- Publications scientifiques dans des revues d'experts, en particulier publications pertinentes des dix dernières années;

- Bonne connaissance de l'anglais, écrit et parlé;
- Direction (ou participation en tant qu'expert invité) d'organes scientifiques, comités et autres organes consultatifs d'experts nationaux, régionaux ou internationaux, portant sur des thèmes en rapport avec la réunion.

Exigences spécifiques

Les candidats rempliront au moins une des conditions spécifiques ci-après:

- Bonne connaissance technique et scientifique de la nanoscience et des nanotechnologies (existantes et en cours de développement), ayant des applications dans le domaine de l'alimentation et de l'agriculture, et au moins trois ans d'expérience professionnelle dans ce domaine;
- Toxicologue ayant au moins dix ans d'expérience de l'évaluation des risques relatifs à la sécurité sanitaire des aliments, et pouvant justifier d'une participation à l'évaluation toxicologique des nanoparticules, y compris des propriétés toxicocinétiques et des interactions avec les biomolécules;
- Au moins dix ans d'expérience de l'évaluation de l'exposition dans le cadre de l'évaluation des risques relatifs à la sécurité sanitaire des aliments et participation attestée à l'application des méthodologies d'évaluation de l'exposition aux nanoparticules dans les aliments, y compris évaluation de l'exposition sur une longue période; et/ou
- Expérience, de préférence au moins quinquennale, de l'évaluation/analyse des perceptions des différentes parties prenantes (consommateurs, producteurs et manufactures, communautés de chercheurs, autorités réglementaires, etc.) vis-à-vis de l'utilisation des nouvelles technologies, notamment des nanotechnologies, pouvant avoir un impact en particulier dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture, en vue de garantir un dialogue transparent et constructif entre les parties prenantes.

En outre, une expérience de la gestion de la sécurité sanitaire des aliments avec participation attestée à la gestion des risques potentiels associés à l'application de nouvelles technologies telles que les nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture sera, le cas échéant, prise en considération.

Processus de sélection des experts

La FAO et l'OMS attachent une grande importance à la qualité technique et à l'indépendance des experts participants, ainsi qu'à la transparence du processus de sélection. Les deux organisations ont mis au point des procédures bien définies pour la sélection des experts, qui sont un gage d'indépendance et d'excellence des avis dispensés.

Les curriculum vitae de chaque candidat seront examinés sur la base des critères énumérés ci-dessus par un jury de sélection composé d'au moins trois personnes, dont au moins un expert externe indépendant internationalement reconnu, désigné par la FAO et l'OMS. À l'issue de l'évaluation du jury de sélection, des candidats hautement qualifiés seront inscrits sur une liste d'experts à partir de laquelle la FAO et l'OMS sélectionneront des experts pour la Réunion.



Pour sélectionner les experts, la FAO et l'OMS prendront en considération, non seulement l'excellence scientifique et technique, mais aussi d'autres critères, tels que la diversité et la complémentarité des antécédents professionnels, la représentation équilibrée des régions géographiques, y compris des pays développés et en développement, ainsi que la parité homme-femme.

Il pourra être demandé aux experts sélectionnés d'intervenir dans la préparation des documents de travail.

Désignation des experts

Les experts seront invités à participer, uniquement à titre personnel et non en tant que représentants de leurs gouvernements respectifs ou de l'institution à laquelle ils sont affiliés. Les experts qui auront été désignés pour participer à ces réunions ne seront pas rémunérés, mais leurs frais de déplacement, leurs indemnités de subsistance et leurs autres dépenses connexes seront entièrement prises en charge par la FAO et l'OMS.

105

Demandes de candidature

Les candidats intéressés soumettront leur curriculum vitae contenant une description détaillée de leurs études, de leur expérience professionnelle et une liste de publications d'experts en rapport avec les sujets indiqués plus haut. Aucun extrait ne sera joint à la demande de candidature, à moins que cela ne soit spécifiquement demandé à une date ultérieure. Les candidats doivent avoir une bonne connaissance pratique de l'anglais, car les réunions et la correspondance se feront uniquement dans cette langue.

Avant de participer aux réunions, les experts sélectionnés seront tenus de déclarer tout intérêt potentiel dans les sujets et les substances qui seront évalués, en remplissant un formulaire standard conçu à cet effet par la FAO et l'OMS. Ils devront indiquer par écrit tout intérêt (financier et intellectuel) qui, dans la situation de leur conjoint, serait susceptible de compromettre leur indépendance scientifique en tant qu'expert, en donnant en particulier des précisions dans les cas suivants: emploi (passé et présent) dans une entreprise commerciale ou privée ou une association de la fonction publique; bénéficiaire d'une bourse de recherche ou d'études délivrée par ces entreprises ou associations; détention d'actions ou de parts dans des entreprises commerciales dont l'activité est en rapport avec les sujets et les substances traités. Leurs déclarations seront évaluées et conservées par les Secrétariats conjoints de la FAO et de l'OMS. En outre, un engagement de non-divulgation sera également signé pour garantir la confidentialité des dossiers et des informations exclusives.

Appel d'informations

(date limite de soumission: au plus tard le 9 janvier 2009)

La FAO et l'OMS recherchent des informations techniques publiées et non publiées afin de s'assurer que toutes les informations pertinentes sur l'utilisation des nanotechnologies dans l'alimentation et l'agriculture et les risques potentiels qui en découlent seront prises en considération. Les informations seront intégrées à l'ensemble des données qui seront

examinées afin que les technologies, leurs applications et risques potentiels soient pleinement compris pour faciliter la formulation de recommandations appropriées et efficaces. À travers cet appel d'informations, la FAO et l'OMS voudraient en particulier sensibiliser à la nécessité de mettre à disposition des informations pertinentes parfois difficiles à trouver dans le domaine public.

Informations confidentielles et/ou non publiées

La FAO et l'OMS sont conscientes du fait qu'une partie des informations et des données pertinentes qu'elles demandent pourraient ne pas être publiées ou avoir un caractère confidentiel. En ce qui concerne les données et informations non publiées, leur auteur en reste le propriétaire et elles peuvent être publiées, dans leur version originale, par celui qui les détient. Les études non publiées à caractère confidentiel seront préservées, pour autant que ce soit possible sans compromettre les travaux de la FAO et de l'OMS. Les propriétaires des données et des informations discuteront directement avec la FAO et l'OMS des questions concernant spécifiquement la confidentialité. Pour toutes informations, concernant ou non cet aspect, prière de s'adresser aux contacts de la FAO et de l'OMS indiqués à la fin de ce document.

Informations demandées:

- Applications actuelles des nanotechnologies dans les domaines de la production animale et végétale, de la transformation, du conditionnement et de la distribution des produits alimentaires, y compris descriptions des technologies, risques potentiels pour la santé du consommateur, avantages pour les divers groupes de parties prenantes (y compris le grand public);
- Activités de recherche-développement en cours sur les nanotechnologies à utiliser dans les domaines de l'alimentation et de l'agriculture, qui devraient être mises sur le marché dans les dix prochaines années, y compris descriptions des technologies, risques potentiels, avantages pour les divers groupes de parties prenantes (y compris le grand public);
- Enquêtes sur les migrations de nanoparticules issues de matériaux en contact avec des aliments, dans les denrées;
- Pureté, distribution en taille des particules et propriétés des substances à nanoparticules incorporées dans les aliments et les surfaces en contact avec les aliments;
- Données disponibles pour une compréhension mécanistique plus approfondie du comportement des nanoparticules dans l'organisme (toxicocinétique, mécanismes possibles de toxicité);
- Information sur les vitamines et les nutriments nanométriques, concernant leur biodisponibilité, l'interférence possible avec l'absorption d'autres nutriments et l'étude des limites de tolérance;
- Données disponibles sur les interactions des nanoparticules avec les biomolécules, les nutriments et les contaminants, et leur incidence sur la santé humaine;
- Techniques disponibles pour la détection, la caractérisation et la mesure des nanoparticules dans les aliments et les matériaux au contact des aliments;



- Évaluations des risques effectuées sur des nanomatériaux à incorporer dans les aliments et les surfaces au contact d'aliments, notamment études de cas et méthodologies d'évaluation de l'exposition humaine, par voie orale);
- Informations sur l'élaboration possible de protocoles normalisés pour l'évaluation de profils toxicologiques de nanoparticules in vitro et in vivo;
- Informations sur les outils de nanodiagnostic dans les secteurs de l'alimentation (y compris l'eau) et de l'agriculture;
- Besoins potentiels et domaines prioritaires pour les avis scientifiques concernant la gestion et la réglementation de la sécurité, dans les administrations nationales;
- Études, enquêtes ou autres informations relatives à la manière dont le public perçoit les applications des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture;
- Autres informations pertinentes par rapport à la Réunion

107

Dates limites

Appel d'experts

Les demandes de candidature doivent être envoyées, de préférence par voie électronique, aux Secrétariats conjoints au plus tard le 9 janvier 2009, aux adresses indiquées ci-dessous. Les demandes parvenues après cette date seront évaluées si les besoins ne sont pas couverts, et l'évaluation et la sélection se feront selon la procédure décrite.

Appel d'informations

Les données ou informations doivent être communiquées aux Secrétariats conjoints au plus tard le 9 janvier 2009 aux adresses indiquées ci-dessous, de préférence par voie électronique (par courriel si le document n'est pas trop lourd, ou sur CD-ROM).

Note d'information pour les participants

108

Réunion d'experts FAO/OMS sur l'application des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture: incidences possibles sur la sécurité alimentaire

Les participants

- Les experts sont invités sur base de leurs compétences particulières et de leurs capacités personnelles.
- La responsabilité des experts est d'examiner des questions posées, de revoir les informations disponibles, de préparer des projets d'évaluation en prévision de débats, de tirer les conclusions appropriées, de rédiger des rapports de section et d'adopter le rapport final.
- Les conseillers techniques sont des experts qui fournissent un soutien technique au secrétariat FAO/OMS en fournissant aux experts les informations pertinentes et en répondant à leurs requêtes.
- Les conseillers techniques fournissent des conseils techniques lors de la réunion, mais ne peuvent influencer l'adoption du rapport final.
- Le Président et le Rapporteur de la séance plénière sont proposés par le secrétariat FAO/OMS et sont élus par les participants.
- Le ou la Président(e) est responsable de l'animation équilibrée et neutre des débats en séance plénière et veille à ce que le rapport final adopté fasse l'unanimité auprès des experts.
- Le ou la Rapporteur(euse) prend note de toutes les discussions en séance plénière et veille à l'inclusion des principaux éléments et références techniques cités lors du débat.
- Le secrétariat FAO/OMS comprend des membres du personnel professionnels des deux organisations, responsables de la préparation, de l'organisation et du suivi approprié des réunions d'experts.

Informations et documentation

- Des copies papier des informations et de la documentation, y compris de «l'appel d'informations», sont disponibles lors de la réunion (salles Mexique, Nigéria et B245).



- Si vous désirez ajouter des informations ou de la documentation, veuillez contacter le secrétariat FAO/OMS avant de les disposer sur les tables.

En ce qui concerne l'historique, le cycle de travail, les tâches du groupe de travail, les résultats escomptés de la réunion, veuillez vous reporter aux transparents d'introduction présentés lors de la première session de la réunion.

Annexe 4

Liste des applications existantes et annoncées de la nanotechnologie dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture

Application	Nanotechnologie	Fonction	Avantages possibles	Voies possibles d'exposition humaine	Disponibilité sur le marché	Commentaires
Ingédients alimentaires nanostructurés (aussi appelés nanotextures)	Nanostructures transformées dans l'alimentation	Gouts, arômes, textures inédits ou améliorés	Grassee en quantité inférieure, produits alimentaires plus saveureux, émulsions plus stables. Un avantage typique de cette technologie pourrait être l'obtention d'une denrée alimentaire nanostructurée à faible teneur en graisse (par exemple, de la crème glacée, de la mayonnaise, de la pâte à tartiner, etc.) qui serait aussi «crèmeuse» que son équivalent extra-gras, offrant ainsi une option «diététique» au consommateur.	Ingestion d'aliments ou de boissons	Actuellement, il n'existe pas d'exemples précis de produit alimentaire nanostructure déclaré disponible sur le marché. Toutefois, il semblerait que certains produits soient au stade de recherche-développement, alors que d'autres seraient sur le point d'être commercialisés.	Un exemple de produit recherche-développement est celui d'une mayonnaise composée d'une émulsion contenant des nanogouttelettes d'eau. Elle offrirait des caractéristiques de goût et de texture comparables à une mayonnaise extra-grasse, mais permettrait une consommation de graisse bien inférieure pour le consommateur.
Système de nanodistribution des nutriments et des compléments	Substances bioactives nanoencapsulées sous forme de systèmes de distribution à base de nanomicelles, de liposomes ou de biopolymères – principalement des additifs et des compléments pour des aliments et des boissons.	Les systèmes de nanodistribution sont conçus pour masquer le goût de certains ingrédients comme l'huile de poisson et pour protéger de la dégradation lors de la transformation. Ils devraient également améliorer la biodisponibilité des nutriments/compléments, agir contre les microbes, auraient un plus bel aspect et d'autres avantages pour la santé.	Préservation des ingrédients et des additifs pendant la transformation et l'entreposage, masquage des goûts et des parfums désplaisants, contrôle de la libération des additifs, et meilleure acceptation des nutriments et des compléments encapsulés.	Ingestion d'aliments ou de boissons	Plusieurs systèmes de distribution sont disponibles avec divers matériaux encapsulés, comme des additifs alimentaires (par exemple, l'acide benzoïque, l'acide citrique, l'acide ascorbique) et des compléments alimentaires (par exemple, les vitamines A et E, les isoflavones, le bêta-carotène, la lutéine, les acides gras oméga-3, le coenzyme-Q10).	Les meilleures acceptation, absorption et biodisponibilité des nutriments et des compléments pourraient également alterer la distribution tissulaire des substances dans l'organisme.

(suite)

Application	Nanotechnologie	Fonction	Avantages possibles	Voies possibles d'exposition humaine	Disponibilité sur le marché	Commentaires
Additifs organiques à l'échelle nanométrique pour l'alimentation, l'alimentation diététique et les aliments pour animaux	Additifs organiques (dont bon nombre sont des substances présentes de façon naturelle) conçus à l'échelle nanométrique.	Grâce à leur plus grande surface de contact, de plus petites quantités sont nécessaires pour remplir une fonction ou transmettre un goût.	Les principaux avantages invoqués seraient une meilleure dispersion des additifs insolubles dans l'eau dans les denrées sans qu'il soit nécessaire d'ajouter des graisses ou des agents tensioactifs supplémentaires, de même que de meilleurs goûts et arômes grâce à la surface de contact plus grande des additifs nanométriques par rapport aux formes conventionnelles en vrac. Pratiquement tous ces produits de cette catégorie seraient mieux absorbés dans l'organisme et auraient une meilleure biodisponibilité dans l'organisme que leurs homologues traditionnels.	Ingestion d'aliments ou de boissons	Plusieurs produits sont disponibles	Ce genre d'applications devrait exploiter un segment bien plus conséquent du secteur de l'alimentation et de l'alimentation diététique et porte sur les couleurs, les agents de conservation, les arômes et les compléments. Plusieurs produits contenant des additifs à l'échelle nanométrique sont déjà disponibles dans les secteurs des compléments, des nutraceutiques, de l'alimentation et de l'alimentation diététique, par exemple des vitamines, des aromatisants, des antioxydants, etc.
Additifs inorganiques à l'échelle nanométrique pour l'alimentation, l'alimentation diététique et les aliments pour animaux	Additifs inorganiques manufacturés à l'échelle nanométrique	Grâce à leur plus grande surface de contact, de plus petites quantités sont nécessaires pour remplir une fonction ou transmettre un goût. D'autres avantages prévus incluent une action antimicrobienne, etc.	Goûts et arômes améliorés grâce aux surfaces de contact plus grandes des additifs nanométriques par rapport aux formes conventionnelles. Ces produits seraient mieux absorbés dans l'organisme et auraient une meilleure biodisponibilité que leurs homologues traditionnels.	Ingestion d'aliments ou de boissons et bioaccumulation potentielle dans l'organisme.	Plusieurs additifs inorganiques sont disponibles dans les secteurs des compléments, des nutraceutiques, de l'alimentation et de l'alimentation diététique. Il s'agit notamment de matériaux inorganiques (comme des métaux alcalino-terreux et des éléments non métalliques, et des matériaux à la surface fonctionnalisée). Par exemple, l'argent, le fer, la silice, le dioxyde de titane, le sélénium, le calcium, le magnésium, etc.).	

(suite)

Application	Nanotechnologie	Fonction	Avantages possibles	Voies possibles d'exposition humaine	Disponibilité sur le marché	Commentaires
Emballages alimentaires	Polymeres plastiques (ou recouverts de nanomatériaux manufacturés pour de meilleures propriétés mécaniques ou fonctionnelles)	Meilleures propriétés mécaniques ou fonctionnelles des polymères utilisés en tant que matériaux en contact avec des aliments ou dans les emballages alimentaires.	«Meilleurs» matériaux en contact avec des aliments en termes de flexibilité, de barrière aux gaz et de stabilité face aux températures ou à l'humidité. Matériaux en contact avec des aliments «actifs» intégrant des nanoparticules métalliques (par exemple argent, oxyde de zinc, oxyde de magnésium) pour leurs propriétés antimicrobiennes. Ils devraient prévenir la prolifération microbienne sur la surface des plastiques et donc préserver la fraîcheur des aliments pour des périodes relativement plus longues.	Par migration (potentielle) vers les denrées alimentaires ou ingestion de revêtements comestibles.	Par exemple, des polymères plastiques comportant de la nanoargile comme barrière au gaz, du nanoargent et du nanooxyde de zinc pour leur action antimicrobienne, du nanooxyde de titane pour une protection contre les rayons UV dans les plastiques transparents, du nano titane de titane pour sa force mécanique et en tant qu'auxiliaire technologique, du nanosilicium pour le revêtement de la surface, etc.	Ce domaine d'application représente la plus grande part du marché actuel et prévu à court terme pour les applications des nanotechnologies dans le secteur de l'alimentation.
Nanorevêtement sur des surfaces en contact avec des aliments	Revêtement à l'échelle nanométrique	Nanorevêtement pour des matériaux en contact avec des aliments faisant barrière ou disposant de propriétés antimicrobiennes	Pour l'autonettoyage «actif» des surfaces dans les usines de transformation comme les abattoirs.	Par migration potentielle vers les denrées alimentaires.	Plusieurs revêtements à base de nanomatériaux sont disponibles pour les surfaces et les machines servant à la préparation des aliments.	Intégration de nanomatériaux, par exemple, de la silice ou du dioxyde de titane pour l'autonettoyage des surfaces, de l'argent pour son action antimicrobienne pour préserver l'environnement hygiénique, ou des structures lipidiques à l'échelle nanométrique pour des surfaces hydrofuges.
Nanomatériaux à la surface fonctionnalisée.	2 ^{ème} génération de nanomatériaux qui ajoutent certaines fonctionnalités à la matrice, comme une action antimicrobienne ou de préservation, par exemple par absorption d'oxygène.	Pour les matériaux de conditionnement des aliments, les nanomatériaux manufacturés fonctionnalisés sont utilisés pour se lier à la matrice polymérique afin d'offrir une force mécanique ou une barrière aux gaz, aux composants volatils (comme les arômes) ou à l'humidité.	Par migration potentielle vers les denrées alimentaires.	Les principales utilisations se font dans les emballages alimentaires. Possibilités d'utilisation dans les aliments pour animaux.	Par exemple, des nanoargiles organiquement modifiées actuellement utilisées dans les emballages alimentaires pour accroître les propriétés de barrage des gaz.	(suite)

(suite)

Application	Nanotechnologie	Fonction	Avantages possibles	Voies possibles d'exposition humaine	Disponibilité sur le marché	Commentaires
Nanofiltration.	Produits de filtration basés sur de la silice poreuse, membranes en cellulose régénérée	Filtration des composants non désirés des aliments comme le goût amer de certains extraits de plantes. Sert aussi à clarifier les vins et les bières.	Possibilité de retirer les goûts, les parfums, les toxines, etc. indésirables des aliments. Élimination des matières insolubles en suspension des bières et des vins.	Ingestion d'aliments ou de boissons. Possible exposition si de la silice reste dans les produits filtrés sous forme de nanoparticules libres.	La silice colloïdale (qui devrait être sous forme de microaglomérations) est utilisée pour clarifier les bières et les vins.	
Produits agrochimiques à l'échelle nanométrique	Engrais, pesticides, médicaments vétérinaires à l'échelle nanométrique	Meilleure distribution des substances agrochimiques dans les champs, plus grande efficacité des pesticides, contrôle accru du dosage des médicaments vétérinaires.		Des recherches ont été menées sur des nanoparticules de lipides solides nanoencapsulés dans le cadre de l'administration de produits agrochimiques, comme des engrais et des pesticides liquides ou à libération contrôlée. Par exemple, un engrais et pesticide combinés encapsulés dans de la nanoargile pour la libération lente de stimulants de croissance et de biopesticides.		Il n'existe pas d'exemple net disponible de pesticides ou d'autres composés agrochimiques nanoformulés (par exemple un médicament vétérinaire). La plupart des exemples en cours de conception sont ceux actuellement à l'étape de développement-recherche.
Nanosenseurs pour l'étiquetage des aliments	Intégration de nanomatériaux dans des encres intelligentes (qui réagissent à un changement de l'aliment emballé) pour imprimer des étiquettes qui indiquent la sûreté et la sécurité des denrées emballées.	Senseurs qui permettent de contrôler l'état des aliments lors du transport et de l'entreposage.	Meilleures authenticité, sûreté et sécurité des aliments grâce à l'utilisation d'emballages «intelligents» qui intègrent des nanocodes-barres et des senseurs capables de vérifier l'état des aliments pendant le transport et l'entreposage.	Par migration (potentielle) vers les denrées alimentaires.	Quelques étiquettes sont déjà disponibles. Beaucoup d'autre sont en cours de développement. Ce domaine d'application connaît probablement une croissance rapide à l'avenir.	Les indicateurs de la sécurité et de la qualité utilisés comme étiquettes ou revêtements pour ajouter une fonction intelligente aux emballages alimentaires sont particulièrement intéressants. Par exemple, pour contrôler l'intégrité des emballages scellés sous vide ou atmosphère inquire afin de détecter des fuites, la congélation-décongélation-recongélation en décelant les variations de temps et de températures, ou la sécurité microbienne en repérant la détérioration des denrées alimentaires.

Application	Nanotechnologie	Fonction	Avantages possibles	Voies possibles d'exposition humaine	Disponibilité sur le marché	Commentaires
Décontamination de l'eau	Nanofer, d'autres photocatalyseurs pourraient être utilisés.	Traitemennt des eaux	Décomposition des polluants organiques, oxydation des métaux lourds, élimination des pathogènes.	Eaux potables traitées ou eaux résiduelles utilisées dans l'agriculture et la production alimentaire.	Nanofer produit et disponible en grandes quantités.	On pense que plusieurs sociétés utilisent cette technologie dans les pays en développement.
Autres applications		Aliments pour animaux	Par la consommation de produits animaux (comme la viande, le lait). Le bien-être des animaux pourrait également poser problèmes.	Théoriquement, tous les minéraux, vitamines ou autres additifs et compléments à l'échelle nanométrique mis au point (ou en cours de développement) pour les aliments pour animaux.	Il existe quelques exemples d'additifs à l'échelle nanométrique spécifiquement mis au point pour les aliments pour animaux.	

Études cas et exemples

Étude de cas n° 1: β -cyclodextrine en tant que nanotransporteur

115

La bêta-cyclodextrine est un heptamère cyclique composé de sept unités de glucose reliées «tête-bêche» par des liaisons alpha-1,4. Elle est produite par l'action de l'enzyme cyclodextrine glycosyltransférase (CGT) sur des sirops d'amidon hydrolysés. La CGT est obtenue à partir de *Bacillus macerans*, *B. circulans* ou de souches liées de *Bacillus*.

Du fait de sa structure cyclique, la β -cyclodextrine est capable de former des composés d'inclusion avec une série de molécules, en général de masse moléculaire inférieure à 250. Elle est donc utilisée comme transporteur et stabilisateur de goûts et de couleurs des aliments, et de certaines vitamines.

Les données disponibles montrent que la bêta-cyclodextrine est résistante à l'action métabolique de l'appareil digestif supérieur, mais des études biocinétiques chez des rats utilisant de la bêta-cyclodextrine radiomarquée démontrent que le nanomatériel est métabolisé d'emblée dans le côlon en dextrines/glucose à chaîne ouverte par l'action combinée de la microflore endogène et de l'activité amylase.

Des données disponibles montrent qu'une grande quantité de bêta-cyclodextrine n'est pas absorbée par l'estomac ou l'intestin grêle des rats et que l'excès de bêta-cyclodextrine devrait être rejeté dans les excréments. L'absorption intestinale, la digestibilité par la microflore colique et les excrétions urinaires de la β -cyclodextrine ont été étudiées. En utilisant des sacs d'intestin grêle de rats *in vitro* et des anses intestinales ligaturées *in vivo*, il a été montré que l'absorption était lente, dépendante de la concentration, non saturable et pas inhibée par la phloréttine, indiquant un processus passif de transport.

La microflore caecale des rats et des êtres humains a pu utiliser la bêta-cyclodextrine dans des conditions anaérobies *in vitro*, montrant que le composé est probablement hydrolysé en glucose par des enzymes bactériennes. Sur base de ce qui précède, le sentiment est que la β -cyclodextrine pourrait être utilisée, mais uniquement indirectement par l'activité de la flore intestinale. De plus, d'autres expériences à fortes doses ($>3\text{g/kg}$ de poids corporel par jour) chez des rats ont montré que seules des quantités négligeables de bêta-cyclodextrine restaient dans le tube digestif et que plus de

95 % de la bêta-cyclodextrine ingérée sont métabolisés en glucose dans l'intestin. L'absorption de la bêta-cyclodextrine était aussi négligeable dans une étude chez des chiens beagles et était excrétée dans l'urine.

L'exposition attendue des consommateurs à la bêta-cyclodextrine a été estimée entre 1,0 et 1,4 mg/kg de poids corporel par jour lors de son utilisation en tant que transporteur d'arômes, de couleurs et de nutriments, sur base des niveaux d'utilisation prévue dans les aliments et des données sur le mode de consommation alimentaire. Il a été estimé, à partir de bases de données d'essais de toxicité vastes et complètes, que la dose journalière admissible pouvait monter jusqu'à 5 mg/kg de poids corporel de β -cyclodextrine. D'autres tests *in vitro* et *in vivo* montrent qu'elle a peu ou pas de probabilité d'affecter l'absorption de nutriments ou de servir en tant que transporteur de substances non désirées (JECFA, 1995).

Étude de cas n° 2: Oxyde de zinc en tant qu'agent antimicrobien dans les matériaux en contact avec des aliments (hypothétique)

Les propriétés antimicrobiennes de certains métaux et oxydes métalliques (par exemple, Ag et ZnO) sont bien connues. La capacité de la nanotechnologie de fabriquer des nanométaux et des nanoparticules d'oxyde métallique, augmentant ainsi la surface de contact et l'activité potentielle, a accru l'intérêt pour l'utilisation de métaux et d'oxydes métalliques comme agents antimicrobiens dans la transformation et les emballages alimentaires. Ces matériaux sont utilisés comme agents antimicrobiens pour protéger l'intégrité des emballages ou des matériaux en contact avec des aliments, ou pour agir comme antimicrobiens sur les surfaces en contact avec les aliments des emballages ou des équipements de transformation alimentaire.

Il n'est pas rare que certains de ces matériaux, sous leur forme macroscopique, se retrouvent dans aliments ou dans les matériaux en contact avec des aliments, ou y soient ajoutés. Par exemple, l'oxyde zinc (ZnO) est utilisé comme suppléments nutritifs dans les aliments et comme colorant et agent de remplissage dans les matériaux en contact avec des aliments. La sécurité de l'utilisation du ZnO sous sa forme macroscopique est bien établie.

L'exposition à des éléments de matériaux en contact avec des aliments est en général estimée sur base des données expérimentales sur la migration, ou par modélisation de la migration, ou encore en supposant une migration complète vers une quantité estimée d'aliments. Pour les applications dans les matériaux à la surface de l'interface avec les aliments, la modélisation de la migration ne fonctionne en général pas bien. Du reste, les modèles de migration existants intègrent d'ordinaire peu de données sur les nanoparticules; cela implique donc de prendre garde au moment de les appliquer pour l'évaluation de migrants à l'échelle nanométrique.

En raison des enjeux de l'analyse des migrants dans les matrices alimentaires, on procède en général à des expériences de migration en utilisant des simulateurs d'aliments. La réactivité des migrants avec le simulateur pose toujours des problèmes, mais la situation peut être encore plus complexe avec des matériaux à l'échelle nanométrique.

manufacturés pour avoir une plus grande surface de contact et une plus forte activité. Donc, en ce qui concerne l'exposition, il pourrait être nécessaire de déterminer la forme du nanomatériel qui entre dans l'aliment. Sinon, des suppositions peuvent être faites partant du principe que tout oxyde de zinc trouvé à migrer depuis le matériel en contact avec des aliments est sous sa forme la plus toxique. Cette dernière hypothèse pourrait requérir d'autres données de tests de sécurité sur des formes nanométriques pour répondre à une exposition supposée plus forte.

Dans les cas où l'on désire un profil d'exposition plus précis pour réduire le besoin de tester la toxicité, l'identité et les caractéristiques physiques des migrants devront être analysées et établies plus dans les détails. Par exemple, il pourrait être nécessaire de démontrer si une particule de ZnO migre dans l'aliment et y reste suspendue en tant que particule à l'échelle nanométrique ou si les nanosubstances sont ionisées, agrégées ou agglomérées lors du processus de migration ou dans l'aliment. Ces informations permettront également de déterminer l'applicabilité des données sur la toxicité de la forme macroscopique du matériel.

Que la substance testée soit sous sa version macroscopique ou sous une forme nanométrique d'oxyde de zinc, la pertinence de tests de toxicité prévus ou existants doit se fonder sur la relation entre la substance testée et celle à laquelle les consommateurs sont exposés. Les recommandations sur les essais de toxicité pour les composants des matériaux en contact avec des aliments se basent en général sur la différenciation des niveaux de migration ou du degré d'exposition probable des consommateurs. La prédiction d'une plus grande biodisponibilité du nanooxyde de zinc suggère, au minimum, de mener des tests plus intensivement à un niveau plus faible d'exposition masse-masse. Autrement, des analyses plus sophistiquées de l'exposition ou de la dose interne pourraient être nécessaires pour établir un lien entre les données de toxicité et les différentes versions de la substance ou pour relier les tests utilisant différentes voies d'exposition. Outre les questions relativement directes concernant la dose interne, l'évaluation des nanomatériaux doit examiner des mécanismes ou des sites de toxicité différents découlant de nouvelles propriétés qui modifient le transport biologique. Il devrait être possible de répondre à ces questions grâce à des études comparatives comme des études sur l'absorption, la distribution, le métabolisme et l'excrétion ou des modélisations. Enfin, selon la nature de l'oxyde de zinc migrant vers les aliments, il sera nécessaire d'évaluer la possible activité antimicrobienne du matériel dans l'organisme.

Annexe 6

Échanges sur les nanotechnologies

118	Échange	Pays	Informations générales
Projets en cours			
	Nanotechnology Issues Dialogue Group	Royaume-Uni	<p>Le Nanotechnology Issues Dialogue Group (NID), présidé par Go-Science, permet le développement responsable des nanotechnologies et coordonne les activités décrites dans la réponse du gouvernement à propos de l'usage des nanotechnologies dans les ministères, agences et conseils de recherche.</p> <p>http://www.dius.gov.uk/partner_organisations/office_for_science/science_in_government/key_issues/nanotechnologies/nidg</p>
	Forum Nano	Allemagne	<p>Le Forum Nano mène des discussions avec des hommes politiques, l'industrie et la société, et préside le débat sur la façon d'appliquer le plus efficacement possible les nanotechnologies. Seules des solutions nanotechnologiques durables comporteront les avantages que la société attend de cette technologie.</p> <p>Le Forum Nano a pris part à la mise au point d'une série de codes de conduite, par exemple, Responsible Nano Code.</p> <p>http://forumnano.com/index.asp</p>
	EMPA	Suisse	<p>Dialogue sur des nanotechnologies sûres pour le secteur textile</p> <p>Diverses activités comme:</p> <p>http://www.ncb.ch/documents/nanosafe_71116web.pdf</p> <p>http://www.ncb.ch/documents/78833.pdf</p> <p>Nanoconvention (EMPA, Suisse)</p> <p>[Nanotechnologie und ihre Auswirkungen auf Medizin, Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft Dialog, Diskussionen, Erfahrungsaustausch, Impulse, Denkanstösse, Visionen]</p> <p>http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*82191</p>
	2nd Annual Massachusetts Nanotechnology Workshop. Promotion du développement en toute sécurité de la nanotechnologie au Massachusetts travail.	États-Unis	<p>Cet atelier permet la tenue d'un dialogue continu entre parties prenantes issues de l'industrie, du gouvernement, de la recherche, des universités et d'autres sur des approches en vue de la protection des travailleurs, de la santé publique et de l'environnement contre l'exposition à des nanoparticules manufacturées. Il se concentre sur les meilleures et les bonnes pratiques actuelles, sur les occasions qu'elles présentent pour soutenir le développement en toute sécurité des nanotechnologies dans le Massachusetts et sur les techniques de mesure des nanoparticules libérées en suspension sur les lieux de travail.</p> <p>http://www.mass.gov/dep/service/outreach/nano_workshop.htm</p>

(suite)



Échange	Pays	Informations générales
Nanoscale Informal Science Education Network – NISE	États-Unis	<p>La Fondation scientifique américaine a soutenu, à hauteur de 20 millions de dollars US, un programme de cinq ans (2005-2010) en vue de la promotion d'un réseau de musées des sciences pour encourager le débat public sur les nanotechnologies. Le réseau NISE coordonne les activités de cinq musées des sciences pour organiser une série d'expositions et de débats publics (environ 3 par an) pour informer et susciter l'intérêt du public sur le thème des nanotechnologies et de la nanoscience et leurs impacts sur la société et l'environnement.</p> <p>http://www.nisenet.org/</p>
International Dialogue on a global cooperation in nanotechnology	Belgique	<p>http://cordis.europa.eu/nanotechnology/src/intldialogue.htm</p> <p>Troisième dialogue international sur la recherche et le développement responsables des nanotechnologies. Bruxelles, les 11 et 12 mars 2008</p> <p>ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/report_3006.pdf</p>
BASF	Allemagne	<p>Dialogue continu avec le monde politique:</p> <p>http://www.bASF.com/group/corporate/en/function/conversions:/publish/content/sustainability/dialogue/in-dialogue-withpolitics/nanotechnology/images/Nanotechnology_in_dialogue.pdf</p>
Nanotechnologien – Bedeutung für Gesundheit und Umwelt	Suisse	<p>http://www.ta-swiss.ch/d/them_nano_pfna.html</p>
Série d'échanges mondiaux sur la nanotechnologie	Meridian Institute, États-Unis	<p>Dialogue mondial sur la nanotechnologie et les pauvres</p> <p>Séries de rencontres sur la nanotechnologie et la réglementation fédérale</p> <p>Dialogue international sur la recherche et le développement responsables des nanotechnologies.</p> <p>http://www.merid.org/nano/</p>
Centers for nanotechnology in society	États-Unis	<p>Université de l'État d'Arizona: http://cns.asu.edu/</p> <p>Université de Californie, Santa Barbara: http://www.cns.ucsb.edu/</p>
Evonik/Degussa Dialogue		<p>Degussa encourage le dialogue avec les autorités, les consommateurs, les journalistes, les hommes politiques et les organisations de défense de l'environnement lors d'événements spéciaux organisés dans ce but.</p> <p>La société invite au débat sur les risques et les avantages de la nanotechnologie et tente de rendre cette nouvelle technologie transparente et de montrer au public combien elle peut être avantageuse.</p> <p>http://www.degussa-nano.com/nano/en/dialogue/</p>
USDA Public Perception and Acceptance of Nanotechnology for Food and Agriculture	États-Unis	<p>L'USDA/CSREES a soutenu trois projets de recherche visant à mieux comprendre la perception et la compréhension du public à l'égard des applications des nanotechnologies aux systèmes alimentaire et agricole. Ces projets ont trois approches et objectifs différents:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Accroître la compréhension du public des nanotechnologies et de leur importance pour l'alimentation et l'agriculture grâce à des radiodiffusions d'entrevues avec des experts; 2. Former les éducateurs (spécialistes de l'agriculture et de la vulgarisation agricole) pour leur transmettre les connaissances actuelles sur les avantages et les risques des nouvelles et des possibles applications des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture; et 3. Étude par panel des consommateurs sur l'acceptation des applications de nanotechnologie dans l'alimentation.

119

Réunion d'experts FAO/OMS sur l'application des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture: incidences possibles sur la sécurité alimentaire

Échange	Pays	Informations générales
Projets achevés		
Nanotechnology Engagement Group (NEG)	Royaume-Uni	<p>Le NEG a été créé en 2005 pour documenter les leçons tirées d'une série de tentatives novatrices pour faire participer le public à des discussions relatives au développement et à la gouvernance des nanotechnologies. Le NEG a étudié six projets britanniques qui cherchaient à intégrer des membres du public à des dialogues sur les nanotechnologies.</p> <p>Achevé en 2007.</p> <p>http://www.involve.org.uk/assets/Publications/Democratic-Technologies.pdf</p>
Actions de soutien précises financées par l'Union européenne (FP6): http://cordis.europa.eu/fp6/projects.htm	Nano Dialogue	<p>Améliorer les échanges sur les nanotechnologies et les nanosciences dans la société au niveau européen:</p> <p>http://cordis.europa.eu/fetch?CALLER=FP6_PROJ&ACTION=D&DOC=1&CAT=PROJ&QUERY=01213f372fd0:13f7:29534e4f&RCN=74979</p>
	Nanologue	<p>Faciliter le dialogue entre les chercheurs, les hommes d'affaires et la société civile pour améliorer la qualité de vie, créer des richesses et réduire les effets sur la société:</p> <p>http://cordis.europa.eu/fetch?CALLER=FP6_PROJ&ACTION=D&DOC=3&CAT=PROJ&QUERY=01213f372fd0:13f7:29534e4f&RCN=74431</p>
"Nano-Dialog 2006–2008"	Allemagne	<p>http://www.bmu.de/english/nanotechnology/nanodialog/doc/40549.php</p> <p>http://bundesumweltministerium.de/gesundheit_und_umwelt/nanotechnologie/nanodialog/doc/37262.php</p>
Les Nanodialogues	Sciencewise/ Demos/ Lancaster University, Royaume-Uni	<p>http://www.demos.co.uk/files/Nanodialogues%20-%20%20web.pdf?1240939425</p>
Étude cartographique sur la réglementation et la gouvernance des nanotechnologies FramingNano Project		<p>Une plate-forme de dialogue entre plusieurs parties prenantes définissant le développement responsable des nanosciences et des nanotechnologies.</p> <p>www.framingnano.eu</p>
Comparative Challenge of NANOmaterials (CONANO Dialogue)	Suisse, Allemagne, Autriche	<p>http://www.ecology.at/files/berichte/E11.565.pdf</p> <p>http://www.ecology.at/conano_dialog.htm</p>
Small talk	Royaume-Uni	<p>Le projet s'intéressait aux avantages pour la communauté scientifique des communications de collaborer sur des activités de dialogue sur une question «en amont» – la nanotechnologie. Ce rapport présente les conclusions du projet à la fois pour les scientifiques de la communication et les décideurs politiques:</p> <p>http://www.smalltalk.org.uk/page41g.html</p>
Nano Risk Framework (DuPont and Environmental Defense Fund)		<p>http://www.nanoriskframework.com/page.cfm?tagID=1095</p>
Dialogue sur les nanoparticules	Allemagne	<p>http://www.dialog-nanopartikel.de/downloads_en.html</p>
NanoJury	Royaume-Uni	<p>http://www.nanojury.org.uk/index.html</p>

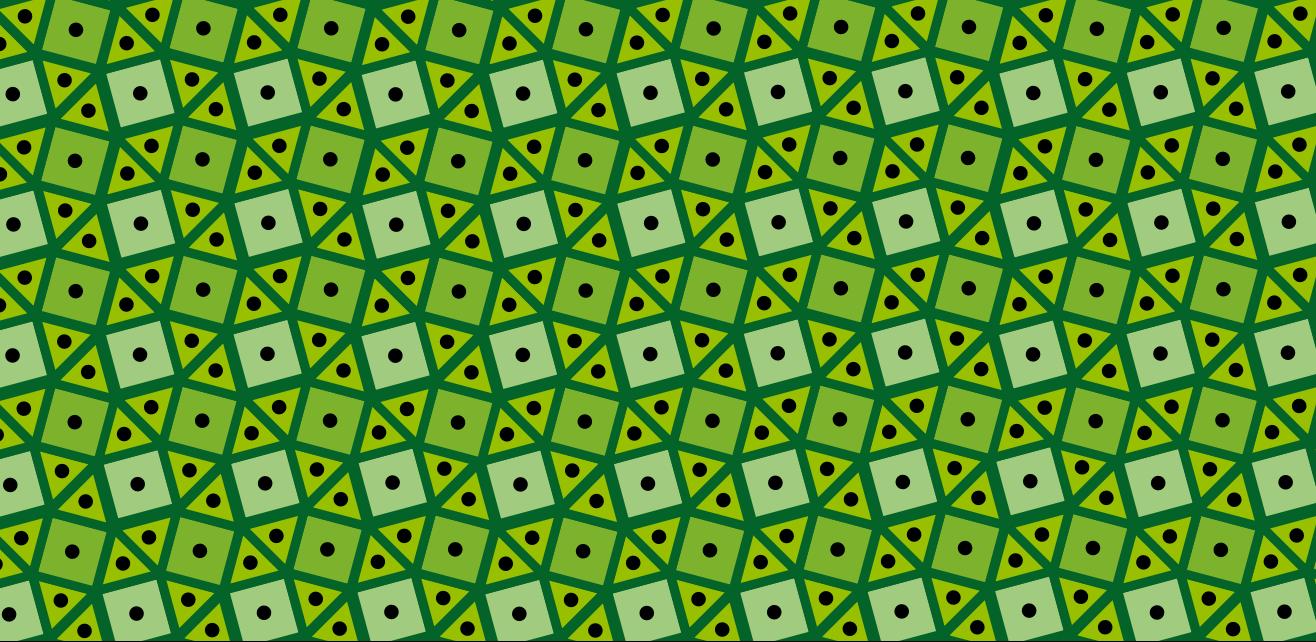
Annexe 7

Sujets et processus pour les échanges sur les nanotechnologies

A / De	Autorités publiques	Industrie	Monde universitaire	Société (y compris des représentants élus, des ONG)	Médias
Autorités publiques	<p>Contenu: Évaluation des risques, orientation, réglementation</p> <p>Processus: Formels (publications officielles, comitologie de l'UE, etc.) et informels (débats, conférences, etc.)</p>	<p>Contenu: Évaluations de la sécurité, évolutions du marché</p> <p>Processus: Formels (demandes d'autorisations), informels (conférences, débats, courriers, etc.)</p>	<p>Contenu: Évaluation des risques, sciences</p> <p>Processus: Évaluations, avis scientifiques, publications, conférences</p>	<p>Contenu: Opinion publique, problèmes de société (protection et sécurité des consommateurs/de l'environnement)</p> <p>Processus: Consultations publiques, conférences, débats publics, courriers, enquêtes publiques</p>	<p>Contenu: Marché, évolution réglementaire et juridique, au niveau national et international, opinion publique</p> <p>Processus: Publications scientifiques, articles/reportages, couverture de conférences, consultations et débats publics</p>
Industrie	<p>Contenu: Exigences légales, directives pour l'évaluation de la sécurité</p> <p>Processus: Formels (publications officielles, comitologie de l'UE, etc.) et informels (débats, conférences, etc.)</p>	<p>Contenu: Évaluations de la sécurité, évolutions technologiques et des marchés, évolution réglementaire</p> <p>Processus: Conférences ouvertes, ateliers d'entreprises privées, réunions d'associations industrielles, etc.</p>	<p>Contenu: Science</p> <p>Processus: Avis scientifiques, publications, conférences, atelier</p>	<p>Contenu: Opinion publique, et sécurité des consommateurs/de l'environnement</p> <p>Processus: Participation à des conférences/forum ouverts, foires scientifiques et ateliers auxquels l'industrie présente des produits/des nouveautés, services d'informations des consommateurs de l'industrie</p>	<p>Contenu: Opinion publique, Processus:</p> <p>Processus: Participation à des conférences/forum ouverts, foires scientifiques et ateliers auxquels l'industrie présente des produits/des nouveautés, services d'informations des consommateurs de l'industrie</p>
Monde universitaire	<p>Contenu: Évaluation des risques, orientation, réglementations, appels à propositions</p> <p>Processus: Formels (publications officielles, etc.) et informels (débats, conférences, etc.)</p>	<p>Contenu: Évaluations de la sécurité, évolutions du marché</p> <p>Processus: Formels («cossiers») sécurité, lorsque des scientifiques servent d'asseuseurs aux autorités publiques, publications, publications professionnelles); informels (conférences)</p>	<p>Contenu: Évaluation des risques, sciences</p> <p>Processus: Conférences, journaux scientifiques, ateliers</p>	<p>Contenu: Opinion publique, préoccupations éthiques/liées à la sécurité</p> <p>Processus: Conférences/thread ouverts, foires et ateliers scientifiques</p>	<p>Contenu: Opinion publique, Processus:</p> <p>Processus: Conférences/thread ouverts, foires et ateliers scientifiques</p>

(continua)

À / De	Autorités publiques	Industrie	Monde universitaire	Société (y compris des représentants élus, des ONG)	Médias
Société (y compris des représentants élus, des ONG)	Contenu: Évaluation des risques, orientation, réglementation Processus:	Contenu: Évaluations de la sécurité, évolutions du marché Processus: Conférences, ateliers, débats, courriels, etc. Foires et ateliers scientifiques, services d'information des consommateurs	Contenu: Science Processus: Conférences/forum ouverts, foires et ateliers scientifiques	Contenu: Processus:	Contenu: Processus:
Médias	Contenu: Sciences, économie, évaluation les risques, orientation, réglementation Processus: Formels (conférences de presse, communiqués de presse); Informels, (discours, présentations, entrevues, publicité/promotion d'un produit)	Contenu: Évolution du marché et technologique Processus: Formels (conférences de presse, communiqués de presse); Informels, (discours, présentations, entrevues, publicité/promotion d'un produit)	Contenu: Évolution scientifique Processus: Avis scientifiques, publications, conférences, communiqués de presse	Contenu: Opinion publique Processus: Discours, présentations, entrevues, enquêtes publiques	Contenu: Processus:



De nombreux pays ont pris conscience du potentiel des nanotechnologies dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture et investissent considérablement dans ses applications dans la production alimentaire. Toutefois, du fait de nos connaissances limitées des effets sur la santé humaine de ces applications, bon nombre de nations estiment qu'il faut examiner sans plus tarder les incidences de ces technologies sur la sécurité sanitaire des aliments.

Pour répondre à ces attentes, la FAO et l'OMS ont pensé qu'il était opportun de convoquer une réunion d'experts sur ce sujet afin de recenser d'autres travaux qui pourraient être nécessaires en vue de l'examen de cette question à l'échelle mondiale.

ISBN 978-92-5-206506-7



9 789252 065067

I1434F/1/01.11



9 789242 563931