

**Rapport sur les nanotechnologies
du groupe de travail du
Conseil National de la Consommation**

Juin 2010

SOMMAIRE

1 INTRODUCTION : PROBLÉMATIQUE ET MÉTHODOLOGIE DU GROUPE DE TRAVAIL SUR LES NANOTECHNOLOGIES.....	4
1.1 LA QUESTION DES NANOTECHNOLOGIES.....	4
1.1.1 <i>Le mandat du Conseil National de la Consommation.....</i>	4
1.1.2 <i>Définition des nanotechnologies et positionnement des nanomatériaux.....</i>	5
1.2 MÉTHODOLOGIE DU GROUPE DE TRAVAIL.....	7
1.2.1 <i>Les participants.....</i>	7
1.2.2 <i>La méthodologie de travail.....</i>	7
2 LES NANOTECHNOLOGIES : UN DOMAINE MULTIFORME EN TRÈS FORT DÉVELOPPEMENT INDUISANT UNE APPROCHE ÉTHIQUE DÉDIÉE.....	9
2.1 UN DOMAINE MULTIFORME : UN LARGE SPECTRE SCIENTIFIQUE ET INDUSTRIEL	9
2.1.1 <i>Les nanotechnologies bénéficient d'une large assise scientifique.....</i>	9
2.1.2 <i>Les nanotechnologies renvoient à de nombreux usages et produits.....</i>	10
2.2 UN DOMAINE EN TRÈS FORT DÉVELOPPEMENT	13
2.3 DE NOUVEAUX ENJEUX ÉTHIQUES.....	14
2.3.1 <i>Des enjeux pour la protection des consommateurs.....</i>	15
2.3.2 <i>Des enjeux pour la protection des travailleurs.....</i>	15
2.3.3 <i>Des enjeux pour la protection de l'environnement.....</i>	16
3 UN IMPORTANT BESOIN DE COMPRÉHENSION ET DE CLARIFICATION POUR ENCADRER LES USAGES DES NANOTECHNOLOGIES.....	18
3.1 LES PREMIERS TRAVAUX SUR LA COMPRÉHENSION ET LA GESTION DES RISQUES POTENTIELS	18
3.1.1 <i>Une clarification en cours de l'impact et des risques potentiels liés à l'usage des nanotechnologies pour les consommateurs.....</i>	18
3.1.2 <i>Une approche volontariste mais manquant encore de visibilité pour structurer la gestion des risques potentiels.....</i>	23
3.2 UN EFFORT DE NORMALISATION EN COURS	24
3.2.1 <i>Le débat normatif au niveau national.....</i>	25
3.2.2 <i>Le débat normatif dans le contexte international.....</i>	25
3.3 UN CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE EN ÉVOLUTION	26
3.3.1 <i>Le débat sur les adaptations des cadres réglementaires existants.....</i>	26
3.3.2 <i>La prise en compte des positions de l'Europe.....</i>	28

4	LES DEBATS SUR LA MAÎTRISE DE L'USAGE DES NANOTECHNOLOGIES.....	31
4.1	UN BESOIN D'INFORMATION DES CONSOMMATEURS	31
5	ANNEXES.....	35
5.1	MANDAT DU CNC SUR LES NANOTECHNOLOGIES.....	35
5.2	LES MEMBRES DU GROUPE DE TRAVAIL	36
5.3	PERSONNALITÉS AUDITIONNÉES	38
5.4	GLOSSAIRE	39
5.5	BIBLIOGRAPHIE	40
5.6	INTERVENTIONS.....	41
5.6.1	<i>La dimension nanométrique - Docteur Eric GAFFET, 08 septembre 2008.....</i>	<i>44</i>
5.6.2	<i>Intervention du Docteur LOMBARD - 08 septembre 2008.....</i>	<i>52</i>
5.6.3	<i>Deuxième Intervention du Dr Eric GAFFET - 08 septembre 2008.....</i>	<i>61</i>
5.6.4	<i>Avis rendu par le Conseil économique et social sur les nanotechnologies devant le CNC - Alain OBADIA, 25 septembre 2008.....</i>	<i>66</i>
5.6.5	<i>Intervention de M. Xavier GUCHET -, Université de Paris I, 21 octobre 2008.....</i>	<i>74</i>
5.6.6	<i>Nanotechnologies : la prise en compte des aspects éthiques, légaux et sociétaux dans les dynamiques institutionnelles internationales - Docteur Françoise D. ROURE, 21 octobre 2008.....</i>	<i>80</i>
5.6.7	<i>Enjeux éthiques des Nanotechnologies - Intervention du Dr Vanessa NUROCK, CEA, 21 octobre 2008</i>	<i>88</i>
5.7	CONCLUSION	92
5.7.1	<i>Intervention du Professeur Henri Temple - Henri TEMPLE, Université de Montpellier, 24 novembre 2008.....</i>	<i>94</i>
5.8	SYNTHÈSE DU COMPTE RENDU DU DÉBAT PUBLIC « NANOTECHNOLOGIES »	98

1 INTRODUCTION : PROBLEMATIQUE ET METHODOLOGIE DU GROUPE DE TRAVAIL SUR LES NANOTECHNOLOGIES

1.1 LA QUESTION DES NANOTECHNOLOGIES

1.1.1 *Le mandat du Conseil National de la Consommation*

A la demande de plusieurs associations de consommateurs, le Ministère a décidé d'organiser un groupe de travail sur les nanotechnologies dans le cadre du Conseil National de la Consommation (CNC).

Bien qu'encore mal connues du grand public, les nanotechnologies sont à l'origine d'évolutions d'une portée considérable. Elles devraient avoir des répercussions dans pratiquement tous les secteurs de l'économie et apporter des réponses nouvelles pour la satisfaction des besoins des consommateurs. Elles apparaissent donc comme des technologies-clés du XXI^{ème} siècle (cf. Annexe 5.1).

En raison de ce potentiel, les nanotechnologies sont devenues un enjeu essentiel pour la compétitivité économique des nations. **Or, un usage mal maîtrisé des nanotechnologies serait de nature à entraîner des risques pour la santé et la sécurité des consommateurs ou pour l'environnement** (cf. Annexe 5.1).

Le Ministre a donc fixé les objectifs suivants à la mission du groupe de travail :

- rassembler des informations sur l'utilisation des nanotechnologies dans la production de biens et de services destinés aux consommateurs.
- entendre des experts sur les risques associés à ces productions, sur les démarches suivies ou à engager pour connaître, réduire et supprimer les risques potentiels, et en particulier sur les études à conduire ;
- organiser le dialogue économique entre les professionnels et les consommateurs pour examiner avec réactivité les problèmes nouveaux que peuvent soulever les nanotechnologies ;
- évaluer l'efficacité des règles juridiques existantes et des dispositifs de contrôle qui protègent le consommateur lorsqu'il acquiert ou utilise des produits incorporant des nanotechnologies ;
- identifier les besoins de régulation que les nanotechnologies font apparaître et formuler, s'il y a lieu, des propositions visant à compléter la législation et la réglementation, au niveau national ou européen, afin de les adapter au contexte du développement des nanotechnologies.

Les recommandations présentées par le CNC doivent permettre un déploiement réussi et maîtrisé des nanotechnologies.

1.1.2 Définition des nanotechnologies et positionnement des nanomatériaux

Il n'existe pas encore de consensus international sur la définition des nanotechnologies, des nanomatériaux, des nanoparticules et nano-objets.

On peut citer toutefois la définition de la nanotechnologie retenue par l'Organisation internationale de normalisation (ISO) et reprise par l'Association Française de Normalisation (AFNOR) :

« La nanotechnologie est la compréhension et le contrôle de la matière et des processus à l'échelle nanométrique, typiquement, mais non exclusivement, au-dessous de 100 nanomètres, dans une ou plusieurs dimensions quand l'apparition de phénomènes liés à la dimension permet en général de nouvelles applications. L'utilisation des propriétés des objets nanométriques qui diffèrent des propriétés d'atomes individuels, des molécules et des matériaux macroscopiques, pour créer des substances améliorées des dispositifs et des substances qui exploitent ces nouvelles propriétés ».

Outre cette définition officielle qui rappelle la dimension et les propriétés spécifiques de cette dimension nanométrique, on peut introduire une définition complémentaire du groupe Nanomaterials Research du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), qui précise que la révolution des nanotechnologies est de pouvoir **utiliser et agir** sur la matière à échelle nanométrique :

« Les nanotechnologies constituent un champ de recherche et de développement impliquant la fabrication de structures, de dispositifs et de systèmes à partir de procédés permettant de structurer la matière au niveau atomique, moléculaire ou supramoléculaire à des échelles caractéristiques de 1 à 100 nanomètres ».

Au sein des nanotechnologies, les nanomatériaux occupent une part importante. Et il convient de différencier dans ces nanomatériaux, les nanoparticules naturelles des nanoparticules manufacturées. Les nanoparticules manufacturées sont fabriquées intentionnellement par l'homme dans un cadre industriel ou de recherche. En revanche, les nanoparticules résiduelles ou naturelles peuvent être issues par exemple d'une explosion de volcan ou de gaz d'échappement des moteurs diesel.

Il est important de souligner que la réflexion du groupe de travail du Conseil National de la Consommation concerne les nanomatériaux manufacturés par l'homme.
--

Les *nanomatériaux manufacturés* par l'homme concernent notamment **les 3 familles suivantes** :

- **Les matériaux nano renforcés** : Les nano-objets sont incorporés ou produits dans une matrice pour apporter une nouvelle fonctionnalité, ou modifier des propriétés physiques. Les nano-composites en sont un bon exemple, qui utilisés comme renforts permettent d'acquérir une résistance à l'usure supérieure.

- **Les matériaux nanostructurés en surface** : Les nano-objets constituent les éléments de revêtements de surface. Les procédés de fabrication de ces revêtements de surface s'appuient sur des principes de dépôt physique (PVD, faisceau d'électrons, ablation laser...) ou chimique (CVD, épitaxie, sol-gel).
- **Les matériaux nanostructurés en volume** : Les nano-objets peuvent également être les éléments de matériaux massifs stables au cours de leur cycle de vie et dont la structure externe est supérieure à l'échelle nanométrique qui, par leur structure intrinsèque nanométrique (porosité, microstructure, réseau nanocristallin), bénéficient de propriétés physiques particulières.

Les *nanoparticules émises par l'homme* sont quant à elles des résidus émis à partir de nano-objets manufacturés. L'émission éventuelle de ces nanoparticules résiduelles peut intervenir **par relargage** lors de 3 phases :

- au moment de l'élaboration des nano-objets ;
- en cours d'utilisation ou en cours d'usure des nano-objets ;
- en cours de recyclage éventuel des nano-objets.

Pour mémoire, parmi les nanoparticules d'origine naturelle, on distingue notamment :

- les nanoparticules d'origine biologique, issues par exemple de la dégradation des squelettes et/ou d'exostructures animales, les protéines, certaines cellules, les liquides biologiques tels que le lait ;
- les nanoparticules produites par les volcans (4 millions de tonnes par an émises dans l'atmosphère terrestre) et par les incendies de forêts (500 000 à 1 million de tonnes par an de poussières de suie) ;
- certains minéraux comme les argiles ;
- les 40 000 tonnes de nanoparticules cosmiques par an.

Le passage des matériaux à l'échelle nanométrique engendre des modifications de propriétés très importantes parmi lesquelles :

- le changement d'échelle ;
- la surface spécifique : la surface d'interaction et d'environnement des nanomatériaux est importante de même que la capacité d'absorber ou de fixer des espèces chimiques sur ces particules ;
- les différences de morphologies : à échelle nanométrique, un composé constitué de la même matière chimique aura une morphologie différente et donc une réactivité différente ;
- le changement de propriétés intrinsèques tel que par exemple l'interaction avec la lumière, des énergies de surface spécifiques...
- la sensibilité à l'environnement : la morphologie d'une nanoparticule va dépendre de son environnement ;
- leur évolution en fonction de leur durée de vie : la morphologie d'une nanoparticule va évoluer au cours de son cycle de vie ;
- la tendance à se regrouper s'il n'y a pas un traitement de surface préalable (phénomène d'agrégation très fréquent pour les nanoparticules).

1.2 METHODOLOGIE DU GROUPE DE TRAVAIL

Du fait des spécificités de l'échelle nanométrique, on fait donc face à des phénomènes nouveaux qui pourraient avoir un impact sur la santé humaine (travailleurs et consommateurs) et l'environnement. C'est pourquoi, le bureau du CNC a constitué un groupe de travail pouvant clarifier la situation actuelle et à venir et permettre le dialogue entre producteurs et consommateurs de nanotechnologies.

1.2.1 Les participants

Pour répondre au mandat du Ministre, le bureau du CNC a constitué un groupe de travail rassemblant des professionnels, des associations de consommateurs et l'administration. Il convient de souligner la large participation des consommateurs et des professionnels :

- 12 associations de consommateurs parmi les 17 nationales agréées participent au groupe ;
- 22 membres professionnels appartenant aux secteurs économiques suivants : agroalimentaire, assurances, chimie, cosmétique, grande distribution, microélectronique, santé, vente à distance.

L'annexe « Membres du groupe de travail et intervenants » détaille la liste des participants et intervenants.

1.2.2 La méthodologie de travail

Les réflexions conduites par le groupe de travail ont été nourries par :

- les débats du groupe de travail ;
- l'audition d'experts ;
- la contribution d'intervenants ;
- la documentation existante sur les nanotechnologies ;
- les avis publiés par des associations et des organismes nationaux et internationaux.

L'objectif du groupe de travail a été de répondre objectivement :

- aux attentes du collège des consommateurs quant à une information complète et pertinente, facilement accessible pour le consommateur ;
- aux contraintes ou craintes exprimées par le collège des professionnels à l'égard notamment d'un éventuel boycott des « nano produits » ;
- aux impératifs de traçabilité qui intéressent les pouvoirs publics notamment pour des raisons de santé publique et de contrôles.



Les axes de travail du groupe ainsi constitué ont été les suivants :

- quelles informations pour les consommateurs ?
- quel mode d'information des pouvoirs publics ?
- qui est responsable de l'information du consommateur ? Quels sont les processus d'interrogation et de réponse ?
- quelle opportunité pour une structure de concertation permanente ?

Le groupe s'est réuni 15 fois entre le 8 septembre 2008 et le 20 mai 2010.

Il a été conduit à suspendre ses travaux notamment, pendant le déroulement du débat public. Des compte-rendu d'avancées des travaux ont été rédigés et validés.

2 LES NANOTECHNOLOGIES : UN DOMAINE MULTIFORME EN TRES FORT DEVELOPPEMENT INDUISANT UNE APPROCHE ETHIQUE DEDIEE

2.1 UN DOMAINE MULTIFORME : UN LARGE SPECTRE SCIENTIFIQUE ET INDUSTRIEL

2.1.1 *Les nanotechnologies bénéficient d'une large assise scientifique*

- **Un effort de soutien mondial en faveur de la Recherche et Développement dans les nanotechnologies**

Les budgets publics consacrés à la recherche et au développement des nanotechnologies ne cessent d'augmenter d'année en année dans le monde. Ainsi, entre 1998 et 2003, les investissements publics ont été multipliés par six en Europe et par huit aux Etats-Unis et au Japon. L'Union européenne a décidé d'allouer, entre 2007 et 2013, 3,5 milliards d'euros à la recherche sur les nanotechnologies. A cela s'ajoutent les investissements privés et les budgets nationaux destinés à la recherche. La part de l'investissement Recherche et Développement (R&D) des entreprises semble plus réduite en France et en Europe qu'aux Etats-Unis et au Japon. La recherche industrielle représente près de 60% du total de la recherche sur les nanotechnologies aux Etats-Unis et plus de 65% au Japon. En Europe, elle se situe autour de 30%. La France se situe dans cette moyenne. L'Allemagne se distingue : la part de R&D des entreprises s'élève à 70% et le pays dépose les deux tiers des brevets européens.

En France, les dépenses de recherche en nanotechnologies du CNRS et du Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) atteignaient un montant de plus de 550 millions d'euros en 2003. Depuis 2005, des projets nationaux (de l'Agence Nationale de la Recherche -ANR-, d'OSEO, de la Direction Générale de la Compétitivité de l'Industrie et des Services -DGCIS-) permettent de soutenir des travaux coordonnés sur l'évaluation des effets des nanoparticules sur la santé.

Plus globalement, de nombreux programmes sont mis en place par les acteurs publics pour favoriser l'innovation sur les nanotechnologies en France¹ :

- l'ANR soutient plusieurs projets dans le domaine des nanosciences et nanotechnologies ;
- trois Réseaux Thématiques de Recherche Avancée (RTRA) ont été créés dans le domaine des nanosciences ;
- six Instituts Carnot ont des activités de recherche fondamentale et de recherche partenariale avec le monde industriel dans le domaine des nanotechnologies ;
- cinq pôles de compétitivité comptent les nanotechnologies parmi leurs thématiques ;

¹ <http://www.nanomicro.recherche.gouv.fr/fr/carnot.html>



- les nanosciences et les nanotechnologies constituent un volet important de la recherche dans le cadre du Contrat de Projet État-Région (CPER) de nombreuses régions françaises.

Enfin, le Président de la République a annoncé, lors de la clôture des Assises de l'innovation le 10 décembre 2008, la mise en place d'une stratégie d'innovation qui concerne en particulier le domaine des nanotechnologies. Celle-ci va s'appuyer sur les pôles de recherche de Saclay, de Grenoble et de Toulouse pour que la France soit à la pointe dans ce domaine. Un budget de 70 millions d'euros par an, soit 350 millions d'euros en cinq ans, est alloué.

- **Un fort potentiel de recherche national dans les nanotechnologies et des applications porteuses**

La France dispose d'un potentiel de recherche de qualité dans le secteur des nanotechnologies. Ainsi, la recherche publique sur les nanotechnologies rassemble environ 4000 personnes. Et des acteurs reconnus de la recherche industrielle mondiale travaillent de longue date sur les nanotechnologies, notamment Minatec (CEA), ST Microelectronics, l'Oréal ou Michelin.

En ce qui concerne plus spécifiquement les applications des nanotechnologies dans le domaine de la santé, on recense en France deux centres académiques de dimension internationale en nanomédecine et 12 sociétés principalement implantées autour de deux grands pôles : Lyon et Paris.

Pour ce qui touche plus particulièrement les applications des nanomatériaux, il convient de rappeler que la France est en avance par rapport aux autres zones géographiques dans les domaines de l'imagerie médicale et de la cosmétique. Dans le domaine des nanomatériaux pour les transports, très suivis par les européens, il serait souhaitable, selon la Direction générale de la compétitivité, de l'industrie et des services (DGCIS) du ministère de l'économie, de l'industrie et de l'emploi, que la France maintienne et consolide sa position du fait des perspectives de marché à court et moyen terme. Enfin, sur l'ensemble des thématiques des nanomatériaux pour l'électronique, la France talonne les américains qui sont les plus avancés.

2.1.2 Les nanotechnologies renvoient à de nombreux usages et produits

L'ensemble de ces travaux de recherche et de développement d'applications des nanotechnologies aboutit progressivement à de multiples usages et produits.

On évalue ainsi au niveau mondial à plus de 1000 le nombre de familles de produits contenant des nanomatériaux manufacturés (Source : Woodrow Wilson Institute). Elle est en croissance exponentielle passant de 54 en 2005 à 1015 familles de produits identifiés en 2009. Cette évaluation est difficile et n'est pas exhaustive. On peut penser que cet inventaire est sous évalué.



- **Industrie des loisirs**

L'industrie des loisirs a été l'une des premières à employer des nanotechnologies. Des nanotubes de carbone sont utilisés pour alléger les raquettes de tennis, les clubs de golf, les skis et d'autres équipements sportifs.

- **Microélectronique**

La microélectronique est très utilisatrice de nano-objets. On en retrouve dans les nanolasers ou dans les lecteurs de DVD. Grâce à la miniaturisation, les capacités de stockage d'information sont décuplées. La nanostructuration va accélérer le développement d'objets communicants multi-applications. Les nanosystèmes potentialisent les capacités des systèmes d'identification et de localisation et par conséquent sont amenés à jouer un rôle croissant dans les technologies de traçabilité des produits, la sécurisation des modes de paiement et d'échange d'information en ligne.

- **Santé**

Les nanotechnologies appliquées à la médecine permettent d'innover dans les domaines du diagnostic, du traitement et du suivi thérapeutique. La nanomédecine aura un impact sur des maladies telles que le cancer, le diabète, les maladies cardiovasculaires, inflammatoires et neurodégénératives. Actuellement, les principales utilisations des nano-objets dans le domaine des soins sont la vectorisation des médicaments, l'imagerie médicale, le transport des gènes (thérapie génique), la délivrance des vaccins et le traitement hyperthermique des tumeurs. Les nanoparticules se développent également dans d'autres secteurs de produits de santé comme les dispositifs médicaux (prothèses, pansements...), l'ingénierie tissulaire, les réactifs de diagnostics in vitro et in vivo.

- **Cosmétiques**

Les produits développés à l'échelle nanométrique en cosmétologie sont des nanoémulsions et des nanopigments. Les nanoémulsions sont des préparations qui renferment des gouttelettes d'eau et d'huiles réduites à la taille nanométrique afin d'augmenter la teneur en huile nutritive. Des ingrédients fragiles à l'air comme des vitamines peuvent être protégés avec des vésicules nanométriques. Des nanopigments sont utilisés dans les produits de protection solaire. Ceux-ci protègent des effets secondaires des UV qui peuvent induire des cancers de la peau.

- **Peintures**

Les nanomatériaux peuvent être utilisés dans les peintures et vernis comme charges ou pigments, et certaines résines sont par définition des nano-émulsions, en particulier toutes les résines hydrodiluable sans solvants. Les nanotechnologies sont exploitées pour obtenir des performances supérieures des propriétés existantes ou développer de nouvelles propriétés.



L'usage des nanotechnologies dans la peinture permet :

- des économies de matière ;
- des couches de matériaux plus fines pour une fonctionnalité accrue ;
- des propriétés optiques permettant le contrôle des besoins en énergie ;
- des propriétés de réductions des polluants et d'amélioration de la qualité de l'air.

Certains pigments et charges nanométriques sont utilisés dans les peintures et les vernis depuis plus de 50 ans. C'est notamment le cas des silices pyrogénées, des gels de silice, des silices colloïdales, des carbonates de calcium, des oxydes de fer et des noirs de carbone.

- **Alimentaire**

L'utilisation des nanotechnologies en agroalimentaire concerne :

- les additifs (encapsulation d'ingrédients, texture, couleur) ;
- l'emballage (bactéricide, étanchéité) ;
- le suivi et la traçabilité (puce électronique, capteur) ;
- l'analyse (test de présence d'agents pathogènes).

- **Textile**

Dans le domaine des textiles, l'incorporation de différentes charges permet d'améliorer les propriétés du textile au niveau thermique, anti-usure, anti-bactérien, anti-odeurs, anti-UV.

L'Institut Français du Textile et de l'Habillement (IFTH) a recensé en 2008 plus de 1950 références de nanoparticules et près de 140 fournisseurs permettant, par exemple, de développer des vêtements de ski avec des membranes respirantes.

- **Transport**

L'industrie des pneumatiques compte beaucoup sur des matériaux nanostructurés pour minimiser les frottements roue/sol et par conséquent diminuer la consommation de carburant. Dans le domaine de la construction automobile, on note par exemple l'utilisation de nanotubes de carbone depuis 1990 pour faire des renforts d'ailes sur des pièces en polymère.

- **Bâtiment**

Dans le secteur du bâtiment, des nanomatériaux sont utilisés dans les vitrages et le béton. Il faut souligner que le Japon emploie depuis plus de 20 ans ces bétons revêtus de nanomatériaux.

2.2 UN DOMAINE EN TRES FORT DEVELOPPEMENT

Dans ce contexte large et multiforme tant en termes de travaux de recherche que d'applications, les nanotechnologies constituent une voie majeure de développement technologique et industriel. Elles sont susceptibles d'apporter des réponses adaptées et nouvelles aux questions comme le réchauffement climatique, la raréfaction des énergies, la pollution de l'air, des sols, des eaux, la prévention et le traitement des cancers et autres maladies graves.

Les nanotechnologies ont franchi une première étape décisive. Elles sont passées de la phase de découverte des années 1980 à 2000, à une phase d'industrialisation et de commercialisation. Le marché mondial des nanotechnologies représentait déjà entre 30 et 40 milliards d'euros en 2001. Il est évalué pour 2015, à 1 000 milliards d'euros selon un scénario pessimiste et 2 300 milliards selon un scénario optimiste :

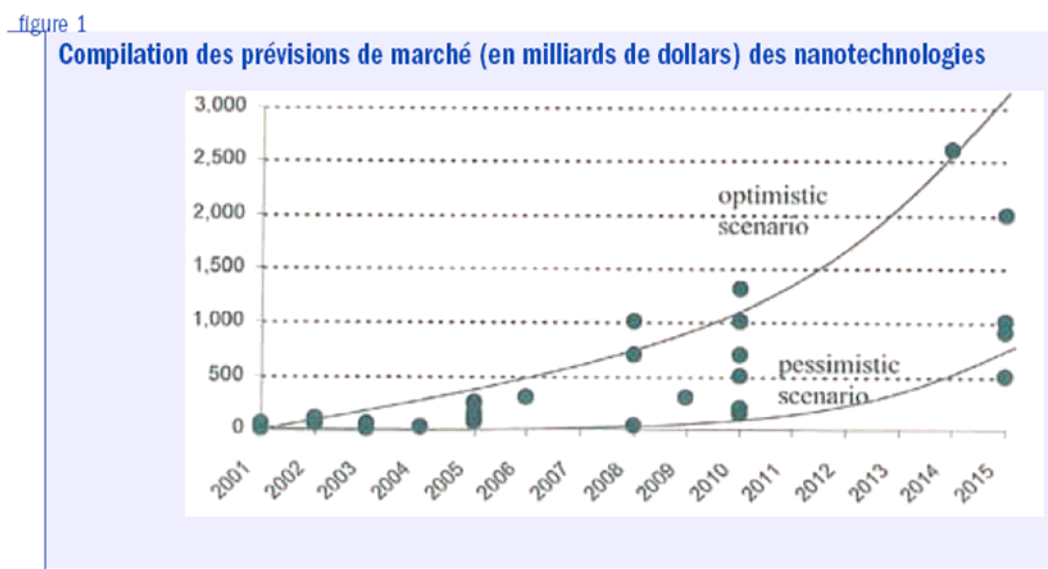


Figure 1 : Prédiction de marché des nanotechnologies

Source : Rapport de la Commission européenne, 2006

Les nanotechnologies auront un impact fort sur l'emploi. Le développement des nanotechnologies nécessiterait le recrutement de 2 à 10 millions de travailleurs dans le monde d'ici à 2014. Avec 10 millions d'emplois, les nanotechnologies représenteront 10% des emplois manufacturés au niveau mondial. Une partie importante de ces emplois peut être créée en Europe, principalement dans les "start-up" et les PME.

Parmi les sociétés positionnées sur les nanotechnologies, la moitié d'entre elles (52%) sont créées ou travaillent aux USA et la moitié de celles-ci sont des start-up. Une bonne partie de la moitié restante est située en Chine. Au niveau européen, la France est distancée par l'Allemagne. En 2005, la France comptait 30 sociétés travaillant dans le domaine des nanotechnologies et l'Allemagne 120. En 2006, l'Allemagne en comptait 550 et la France 170.



En 2008, d'après les rapports de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail (AFSSET), ce chiffre est stable pour la France, alors que l'Allemagne comptabilise dorénavant 1000 entreprises. Face à ce constat, la DGCIS souhaite lancer un plan d'activation cohérent pour le développement des nanotechnologies en France.

Dans le domaine spécifique des nanomatériaux, la DGCIS a identifié 4 domaines porteurs pour la filière des nanomatériaux française en termes de potentiel économique et de temps d'accès au marché :

- santé hygiène beauté ;
- transports ;
- énergie et environnement ;
- matériaux pour l'électronique.

2.3 DE NOUVEAUX ENJEUX ETHIQUES

Face à ce foisonnement scientifique mettant en évidence de nouvelles propriétés spécifiques à l'échelle nanométrique et dans ce contexte de croissance continue des activités industrielles offrant de plus en plus de produits issus des nanotechnologies, la question de la création et du maintien de la confiance des consommateurs dans les technologies à échelle nanométrique est importante pour le devenir du progrès scientifique et technique au XXIème siècle. **La prise en compte des aspects éthiques, légaux et sociétaux des nanotechnologies par les consommateurs et les citoyens apparaît comme légitime et souhaitable et permettra de constituer la prochaine étape d'un avènement maîtrisé de cette révolution technologique.** Ces problématiques concernent le respect des droits fondamentaux, la transformation possible de l'humain et de son environnement, l'équité dans l'accès aux bénéfices des nanotechnologies, les interrogations sur la pertinence des usages et le bien-fondé des développements. Les questions que soulèvent les nanotechnologies relatives à la protection des consommateurs, à la protection des travailleurs (chercheurs et industriels) qui mettent en œuvre les nanotechnologies et à la protection de l'environnement s'inscrivent dans ce contexte.

La difficulté de la nano-éthique est de réfléchir de manière prospective sans disposer de tous les éléments puisqu'il s'agit d'un domaine en plein développement. Il est donc nécessaire de travailler de la manière la plus rigoureuse possible mais sans certitude absolue. C'est pourquoi, il s'agit d'un chantier en co-construction entre la société, les sciences et le monde industriel. De ce fait, on peut considérer les nanotechnologies comme un « carrefour » éthique, à la fois structuré et ouvert à de multiples possibilités.

Ces nouveaux enjeux éthiques incitent les représentants d'un large rassemblement d'organismes à émettre un avis sur les principes de surveillance des nanotechnologies et nanomatériaux. Ce rassemblement regroupe des organismes de la société civile, des groupements de défense des intérêts du public et des organismes environnementaux et syndicaux, préoccupés par les diverses conséquences envisageables de l'utilisation des nanotechnologies sur la santé humaine, l'environnement, et la société. Ces organismes mettent en avant la nécessité de suivre une approche précautionneuse afin de préserver la



santé et la sécurité du public et des travailleurs. Cette approche est également défendue par le Comité Consultatif National d'Éthique (CCNE). **Face aux conséquences imprévisibles de l'application des nanotechnologies, notamment dans les sciences de la vie et de la santé, le CCNE met en avant le principe de précaution.**

2.3.1 *Des enjeux pour la protection des consommateurs*

Concernant les consommateurs, la question de l'innocuité des produits mis sur le marché est essentielle et actuelle. Il semble que l'enjeu d'une démocratisation de la technologie aujourd'hui soit, en effet, de permettre au citoyen de savoir concrètement ce que font les scientifiques dans les laboratoires, quels sont les protocoles, les méthodologies et les processus de production. Il convient de rappeler que les tests à l'échelle nanométrique ne sont pas standardisés, ils ne sont pas disponibles et les personnes capables de les mettre œuvre sont peu formées. Il est donc nécessaire de se donner les moyens d'informer les consommateurs et de continuer à investir sur la rapidité de mise en place de ces tests.

Or, on constate un déséquilibre entre les budgets en R&D alloués à la mise au point d'applications commerciales des nanotechnologies et ceux alloués à la recherche sur leurs impacts potentiels sur la santé humaine et l'environnement. Seuls 4 à 5 % des budgets totaux en faveur du développement des nanotechnologies sont dédiés à des projets étudiant l'impact et les risques des nanotechnologies. Il est donc nécessaire de poursuivre, voire d'amplifier, les efforts menés pour évaluer ces dangers et prendre en compte les risques toxicologiques et les formes d'exposition aux nanoparticules pour établir des normes.

Une attention particulière devra être portée à la convergence des nanotechnologies avec la biologie et les technologies de l'information. La perspective de manipuler la matière à l'échelle moléculaire et d'interférer avec le monde du vivant suscite de grands espoirs, mais aussi des inquiétudes éthiques.

2.3.2 *Des enjeux pour la protection des travailleurs*

Les questions éthiques touchent aussi à la protection des travailleurs et des chercheurs en contact avec des nanoparticules. Un ensemble d'études recommande d'y porter une attention particulière².

² Dans le rapport « Nanomatériaux et sécurité au travail », l'AFSSET recommande l'application du principe de précaution, compte tenu des possibles risques de toxicité et des difficultés de mesure. L'AFSSET recommande de limiter l'exposition des personnes et protéger la santé des personnes potentiellement exposées.

Dans son avis sur la sécurité des travailleurs lors de l'exposition aux nanotubes de carbone, le Haut Comité de la Santé Publique (HCSP) recommande, en vertu du principe de précaution, que la production des nanotubes de carbone et leur utilisation pour la fabrication de produits intermédiaires ou de produits de consommation et produits de santé, soient effectuées dans des conditions de confinement strict. Il propose des actions de repérage des situations d'expositions potentielles et de nano-sécurité, en particulier pour les nanotubes de carbone et des pistes de recherche sur la métrologie et les risques.

Dans sa résolution sur les nanotechnologies et les nanomatériaux, la Confédération Européenne des Syndicats (CES) demande que la santé au travail figure en tête de liste de tout régime de surveillance des nanomatériaux. Il note un besoin énorme de formation, d'éducation et de recherche pour permettre aux spécialistes de la santé et de

2.3.3 Des enjeux pour la protection de l'environnement

Enfin, au niveau environnemental, il existe peu d'information sur la dégradation des nanoproduits et leur impact. D'après un rapport de l'AFSSET en 2008, il n'existe pas à ce jour de données sur la toxicité des nanoparticules et des nanomatériaux sur la flore et la faune.

Dans le cadre du Grenelle de l'environnement, la France souhaite encadrer l'usage des substances nanoparticulaires. Le projet de loi Grenelle II a prévu l'organisation d'un débat public au plan national sur l'utilisation des substances à l'état nanoparticulaire.

Au niveau européen, la France encouragera une rénovation de l'expertise et de l'évaluation des technologies émergentes, notamment en matière de nanotechnologies afin d'actualiser les connaissances utilisées en toutes disciplines.

Concernant la gestion des déchets des nanoproduits, les premières réflexions commencent à émerger sur la mise en place d'une filière spécifique de traitement et d'élimination. Les associations de consommateurs regrettent que ce sujet ne soit pas davantage étudié. Elles soulignent également que la directive européenne « déchets » qui fixe des objectifs de recyclage aux États membres n'est peut-être pas suffisante pour la prise en compte des nouveaux types de déchets issus des nanotechnologies.

Sur le plan industriel, l'UIC indique que les déchets résultant de la fabrication des nano-objets sont pris en charge par des filières dédiées qui ont recours à des traitements appropriés assurant un haut niveau de maîtrise des risques pour la santé, la sécurité ou l'environnement. La Fédération des Industries des Peintures, Encres, Couleurs, Colles et Adhésifs (FIPEC) indique qu'il existe actuellement une étude sur la mise en place d'une responsabilité élargie du producteur pour les déchets diffus spécifiques dont les déchets dangereux. Cette étude, qui fait partie de l'un des points du Grenelle de l'environnement, est dirigée par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME).

la sécurité de pouvoir prévenir les expositions professionnelles aux nanomatériaux. La CES appelle donc la Commission Européenne à modifier la directive sur la protection des travailleurs contre les risques chimiques sur les lieux de travail (98/24/EC). Elle considère en effet que cette directive ne permet pas de protéger de façon adéquate les travailleurs exposés aux substances pour lesquelles il y a des lacunes dans nos connaissances sur leurs propriétés toxicologiques.

Le Conseil de L'Union Européenne a publié un code pour la conduite responsable des chercheurs en nanosciences et nanotechnologies. Le code souligne notamment que dans le domaine de la recherche en nanosciences et nanotechnologies, la protection des chercheurs et des travailleurs potentiellement exposés aux nano-objets et nanoparticules nécessite une attention et des efforts particuliers.



Les nanotechnologies constituent un domaine à fort potentiel du point de vue technico-économique. Les budgets publics et privés consacrés aux nanotechnologies sont en augmentation d'année en année. De nombreuses applications industrielles et médicales se développent dans ce vaste domaine. De plus, les nanotechnologies permettront la création de nombreux emplois industriels. **Cependant, le potentiel du marché des nanotechnologies doit s'accompagner d'un développement responsable, permettant de bénéficier du progrès scientifique et économique dans un cadre éthique respectant les impératifs de sécurité sanitaire, alimentaire et environnementale.**

3 UN IMPORTANT BESOIN DE COMPREHENSION ET DE CLARIFICATION POUR ENCADRER LES USAGES DES NANOTECHNOLOGIES

3.1 LES PREMIERS TRAVAUX SUR LA COMPREHENSION ET LA GESTION DES RISQUES POTENTIELS

3.1.1 *Une clarification en cours de l'impact et des risques potentiels liés à l'usage des nanotechnologies pour les consommateurs*

L'évaluation des risques associés aux nanotechnologies fait l'objet de nombreux travaux. **Dans le cadre du mandat du CNC, une attention particulière est portée aux risques associés aux nanomatériaux manufacturés (nanoparticules ou nanotubes).** Le rapport de l'Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture (UNESCO) «Ethique et politique des nanotechnologies» précise que des substances nouvelles sont susceptibles de connaître une large diffusion dans un proche avenir (les fullerènes, les nanotubes de carbone, les nanobilles d'or). A court et moyen terme, il faut s'intéresser prioritairement aux risques associés à ces substances spécifiques. Le TiO₂ et l'oxyde de zinc sont quant à eux utilisés déjà depuis plus de vingt ans.

- **Les risques pour la santé humaine**

Les résultats issus de plusieurs études permettent de dresser un premier état des lieux des effets des nanomatériaux manufacturés sur la santé humaine. Les premiers travaux scientifiques indiquent que certains nanomatériaux manufacturés pourraient présenter des risques :

- Au niveau européen, le SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks – Commission européenne) a émis un avis sur l'évaluation des risques des produits de nanotechnologies. **L'étude a permis de démontrer qu'il existe des risques pour certains nanomatériaux manufacturés. Cependant, tous les nanomatériaux n'ont pas d'effets toxiques.**
- En France, l'AFSSET a publié le rapport « Les nanomatériaux : effets sur la santé de l'homme et sur l'environnement » livré en juin 2006. **Les données disponibles indiquent que certaines nanoparticules insolubles peuvent franchir les différentes barrières de protection, se distribuer dans le corps et s'accumuler dans plusieurs organes, essentiellement à partir d'une exposition respiratoire ou digestive.**
- La Confédération Européenne des Syndicats (CES) souligne dans sa recommandation que les particules de petite taille ont, pour une masse donnée, une plus grande surface (ré)active que les particules plus grosses. Leur toxicité pourrait être plus marquée.

Les incertitudes persistent encore malgré ces premiers travaux du fait de l'absence de techniques fiables pour la caractérisation physicochimique des nanomatériaux.

En l'absence d'études standardisées capables de définir de manière précise comment étudier ces produits, il est difficile de définir de manière exhaustive et complète tous les effets biologiques et toxicologiques des nanomatériaux.

Or, dans une synthèse parue en 2007 qui recense près de 428 études portant sur 1000 particules, on constate que près de 85% de ces études démontrent une toxicité spécifique des nanotechnologies par rapport aux microtechnologies testées dans les mêmes conditions.

Dans ce contexte, des informations et des techniques permettant de contrôler et de limiter les expositions professionnelles commencent à être disponibles. Un point crucial est rappelé par l'AFSSET. Celle-ci met en effet en évidence la **nécessité de développer des outils métrologiques permettant d'identifier, de caractériser et de quantifier les nanoparticules dans l'environnement, préalables indispensables à la possibilité de l'évaluation de leurs dangers**. A cet égard, il faut rappeler que la Suisse a mis en place une matrice de test sur un an pour les produits nanomatériaux. Celle-ci permettra d'analyser de manière standardisée les risques potentiels des nanomatériaux synthétiques.

- *Les risques liés au relargage (émission fortuite) de nanoparticules par un produit*

Les consommateurs soulignent le risque éventuel que des particules conservent un risque toxicologique ou éco-toxicologique lors d'un vieillissement ou d'un relargage. Pour clarifier ce risque éventuel, l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (l'INERIS) a réalisé une étude sur le vieillissement de pièces nanométriques et le relargage de nanoparticules.

Suite à des travaux sur le relargage, l'Université de Dresde en Allemagne a conclu que la présence de nanotechnologies dans un produit n'implique pas forcément un relargage de nanoparticules. L'étude indique également que le relargage de nanoparticules n'implique pas forcément la présence de nanomatériaux dans le produit.

- **La gestion des risques spécifiques aux différents secteurs industriels**

Au regard des différents travaux présentés lors des auditions du groupe de travail sur les nanotechnologies, on peut dresser un état des lieux des risques potentiels associés aux nanotechnologies dans ses principaux secteurs utilisateurs. Avant d'analyser les risques potentiels par secteur utilisateur, on peut rappeler au préalable que 3 groupes d'acteurs constituent la chaîne industrielle des nanotechnologies :

- les fabricants de nanotechnologies et de nanomatériaux : essentiellement, les acteurs de l'industrie chimique ;
- les industriels qui mettent en œuvre ou conçoivent des nanocomposites, les « transformateurs » ;
- Les acteurs de l'aval qui utilisent les nanotechnologies ou incorporent des nanomatériaux dans leurs produits finis : les fabricants de peintures, de cosmétiques, les industriels du textile, l'agroalimentaire...

- *Gestion des risques dans l'industrie chimique*

En amont de la chaîne, l'industrie chimique fabrique les nanomatériaux. Les métiers de l'aval n'ont pas à réaliser de transformation chimique. Ils reçoivent des produits élaborés par l'industrie chimique. Les études de toxicologie et d'éco-toxicologie sont donc réalisées en amont. Le fabricant du matériau est chargé de fournir le dossier de sécurité de l'usage du matériau de base. Le fabricant du produit fini s'intéresse à la sécurité de celui-ci.

Les éléments de toxicologie apparaissent dans les fiches de données de sécurité, documents contractuels et obligatoires entre clients et fournisseurs industriels. **Il n'existe pas encore de protocole validé pour effectuer des études de toxicologie et d'écotoxicologie spécifiques sur les nanomatériaux. Il n'existe pas non plus de méthode normalisée pour la détection des nanomatériaux dans l'environnement**, pour les caractériser et les mesurer. Seules quelques données toxicologiques sur des nanomatériaux sont disponibles actuellement. Elles font l'objet de nombreuses discussions parmi les experts. L'UIC rappelle qu'on ne sait pas aujourd'hui s'il existe des nanoparticules particulièrement toxiques. Cet état partiel des connaissances incite donc à une certaine prudence.

Les consommateurs indiquent que, selon une étude récente, environ 30 000 produits chimiques restent à évaluer. Il faut donc s'attendre à une saturation totale des centres toxicologiques qui pourrait constituer un frein à la mise sur le marché de nouveaux nanomatériaux. **Les consommateurs concluent que les études toxicologiques devraient être prioritaires en fonction de l'usage du nanomatériau.**

- *Gestion des risques dans le secteur de la peinture*

Dans les peintures et vernis, les nanomatériaux peuvent être utilisés en tant que charges ou pigments. Certains de ces pigments et charges nanométriques sont utilisés dans les peintures et vernis depuis plus de 50 ans. Les résines sous forme de nano-émulsions ont vocation à devenir une couche homogène ne présentant plus de structure nanométrique (les nanogouttelettes se rassemblent lors du séchage pour former des gouttelettes plus grosses puis une seule phase homogène).

La FIPEC indique que les nanomatériaux « classiques » utilisés depuis plus de 50 ans ont déjà des données de dangers et que l'industrie possède un certain recul sur les moyens de protection et la maîtrise des risques liés à la manipulation de ces nanomatériaux. **Dans le secteur des peintures, les nouveaux risques éventuels seraient donc liés à la manipulation de nouveaux nanomatériaux apportant des propriétés innovantes au produit fini.** La FIPEC a mis en place un groupe de travail sur les nanotechnologies. Il en ressort qu'il apparaît nécessaire de réaliser des études supplémentaires sur les méthodes de caractérisation des nanomatériaux et nanoparticules et les moyens de mesure adaptés à la production.

- *Gestion des risques dans l'industrie pneumatique*

Les producteurs indiquent que l'industrie du pneumatique prend ses responsabilités par rapport à l'environnement en particulier sur les émissions de CO₂ et les débris d'usure des pneumatiques. Des études sont en cours pour mesurer l'impact des émissions de particules.

Il n'a pour l'instant pas été trouvé, lors des essais, de particules de dimensions nanométriques générées par l'usage des pneumatiques. Le groupe de travail mis en place par les fabricants de pneumatiques continue les investigations pour arriver à une conclusion définitive.

○ *Gestion des risques dans le secteur des médicaments*

L'Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE) recommande de focaliser les recherches en nanomédecine sur la caractérisation des nanomatériaux mis sur le marché, sur leur génotoxicité par voie orale, leur pharmacocinétique et leur écotoxicité.

Pour les médicaments, l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé (AFSSAPS) a publié des recommandations relatives aux études pertinentes à mener dans le cadre d'une demande d'autorisation de produits contenant des nanomatériaux. Des incertitudes subsistent mais des recherches encadrées sont entreprises. L'AFSSAPS ne remet pas en cause le cadre réglementaire existant. **L'agence juge nécessaire l'adaptation des outils de mesure.** L'évaluation toxicologique des médicaments, sous forme nanoparticulaire, ne doit pas s'écarter de la stratégie conventionnelle de l'évaluation de la sécurité des médicaments. L'AFSSAPS indique qu'un certain nombre de points doivent être explorés précisément compte tenu du comportement des médicaments nanoparticulaires et de leur potentielle réactivité in vivo :

- franchissement de barrières physiologiques comme la barrière hémato-encéphalique (BHE), le placenta ;
- formation agrégats/agglomérats de particules ;
- activation de la réponse immunitaire.

○ *Gestion des risques dans l'industrie cosmétique*

L'industrie cosmétique utilise depuis plus de 20 ans des filtres UV minéraux, tels que le dioxyde de titane (TiO₂). Ces produits ont fait l'objet d'évaluations toxicologiques par les organismes internationaux et en France par l'AFSSAPS et l'AFSSET. Les agences ont reçu des dossiers complets et sont en train de réfléchir sur les méthodes métrologiques et toxicologiques les mieux adaptées. Les évaluations définitives sont attendues pour 2010. Le Groupe Consultatif Européen des Consommateurs (GCEC) requiert également des données précises sur les produits issus de la nanotechnologie déjà présents sur le marché. La majorité des membres du GCEC fait part de sa préoccupation concernant les lacunes réglementaires et scientifiques et le manque d'informations aux consommateurs dans le domaine des nanotechnologies.

A l'heure actuelle, l'utilisation du dioxyde de titane sous forme nanométrique est présentée comme sans danger, en l'état actuel des connaissances :

- La Fédération des Entreprises de la Beauté (FEBEA) indique que les premières évaluations n'ont pas mis en évidence de risques pour la sécurité du consommateur. Les nanopigments de dioxyde de titane forment des amas de taille supérieure à 100 nm. Des études ont montré que ces nanopigments ne franchissent pas la barrière cutanée.

- Des études menées par les industriels à la demande de l'Union européenne en 1999 sur la génotoxicité, la cytotoxicité et la photo-génotoxicité des particules de TiO₂ n'ont révélé aucune toxicité aiguë.
- Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a classé le TiO₂ sous forme micrométrique (et non nanométrique) comme cancérigène *par inhalation* en 2006. Aucune étude n'a été faite sur la forme nanométrique.

La FEBEA indique que la liste des ingrédients nanométriques utilisés dans l'industrie cosmétique mondiale est connue, sous réserve de la véracité des déclarations et de ce qui se passe sur certains marchés notamment asiatiques. En France, les membres de la FEBEA n'utilisent ni fullerènes, ni nanotubes de carbone, du fait d'une absence de certitudes quant à leur absolue sécurité.

○ *Gestion des risques dans le secteur agro-alimentaire*

L'ANR recense 200 entreprises concernées par l'utilisation des nanotechnologies dans l'alimentaire (USA, Chine, Japon,..) et 180 cas d'utilisation. Aujourd'hui, les industriels du secteur agroalimentaire en Europe interrogés à la fois par la Direction Générale de la Santé et de la Protection du Consommateur de l'Union européenne (DG Sanco) et par leur fédération professionnelle, déclarent ne pas utiliser de nanotechnologies dans leurs denrées, ni dans leurs emballages. Les fabricants d'ingrédients alimentaires et les fournisseurs d'emballages destinés au contact alimentaire déclarent qu'eux non plus n'utilisent pas de nanotechnologies. Lors de son audition par le Conseil National de la Consommation, l'Association Nationale des Industries Alimentaires (ANIA) a rappelé que le secteur était mobilisé. L'objectif de l'ANIA est de sensibiliser les industriels de l'alimentaire et de conduire une enquête permettant d'aboutir à un guide de bonnes pratiques.

L'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA) **indique qu'en Europe les nanoparticules dans le champ alimentaire demeurent encore au stade de la recherche.** Des avancées plus concrètes ont été relevées dans les applications des matériaux au contact des aliments et des procédés de traitement de l'eau.

L'AFSSA a été saisie, en juin 2006, afin d'évaluer les risques liés à l'introduction de nanoparticules dans les eaux de boisson et les aliments. Dans son rapport de mars 2009, l'agence indique :

- il existe des compléments alimentaires contenant des nano-éléments. Ceux-ci sont supposés faciliter l'absorption. Les modifications de l'absorption ou de la biodistribution pourraient remettre en cause les référentiels nutritionnels actuels et les risques d'interactions avec d'autres nutriments ;
- il est nécessaire de mettre en place un dispositif permettant de recenser et d'encadrer la mise sur le marché de tout produit contenant des nanoparticules ;
- compte tenu des connaissances encore parcellaires sur le devenir des nanoparticules libres dans les milieux poreux, l'AFSSA recommande la mise en place de dispositions garantissant l'absence de toute utilisation de nanoparticules par injection directe dans les nappes phréatiques.

Une importante activité de recherche concerne les nanomatériaux en contact avec les denrées alimentaires. Les recherches portent notamment sur les nanoparticules d'argent. L'AFSSA rappelle que tout matériau au contact des aliments doit être inerte. Il doit donc présenter un risque de migration nul ou presque nul. **Dans le domaine des nanotechnologies, l'AFSSA signale qu'on ne dispose pas encore de moyens techniques suffisants pour surveiller l'évolution de certains aspects des nanomatériaux.** Des interrogations sur le suivi de leur cycle de vie et de leur détérioration demeurent aujourd'hui sans réponse.

Dans le secteur des produits phytopharmaceutiques à usage agricole, l'Union des Industries de la protection des plantes (UIPP) précise qu'il n'y a pas de développements sur la base de nanotechnologies dans les produits actuels ou dans les produits de recherche.

L'Autorité Européenne de Sécurité des Aliments (AESa) a publié son avis scientifique sur la nanoscience et les nanotechnologies en relation avec la sécurité de l'alimentation humaine et animale. Le comité scientifique de l'EFSA a conclu que les données actuellement limitées et l'absence de méthodologies expérimentales validées pourraient rendre l'évaluation des risques de certains nanoproducts très difficile et sujette à un degré élevé d'incertitude.

○ *Gestion des risques dans le secteur du textile*

Les professionnels du textile considèrent que l'avenir de l'industrie textile française passe par l'élaboration de textiles très sophistiqués. L'IFTH indique que des travaux de recherche et développement sont en cours afin d'intégrer des nanomatériaux dans la filière textile.

En amont de la filière, il faut savoir si les nanomatériaux incorporés sont ou non toxiques. Les producteurs de textiles ont besoin de disposer d'informations sur les caractéristiques physiques, chimiques et toxicologiques des nanomatériaux utilisés.

A un deuxième niveau, se pose le problème de l'évaluation de la sécurité du produit utilisé dans le textile au regard de l'usage qui en sera fait. Le CEA précise qu'il convient de parler pour les textiles, de « cycle de vie » des nanomatériaux car ils vont avoir des devenir divers tout au long de leur utilisation. Ils vont éventuellement provoquer des expositions plus ou moins importantes pour l'homme et pour l'environnement. L'IFTH indique qu'il existe un grand panel de tests disponibles, qui correspondent aux conditions d'usage des différents produits textiles qui sont sur le marché. Ces méthodes de contrôle et d'analyse existantes doivent cependant être distinguées des méthodes pour détecter, identifier, quantifier les nanoparticules susceptibles d'être relarguées par abrasion.

3.1.2 Une approche volontariste mais manquant encore de visibilité pour structurer la gestion des risques potentiels

Les assurances peuvent être un moyen de couvrir et compenser les risques technologiques associés aux nanotechnologies par les entreprises. Les assureurs interrogés précisent qu'ils ne disposent pas de suffisamment d'éléments pour couvrir actuellement ces risques. Ainsi, aux Etats-Unis, un assureur a choisi d'exclure des contrats d'assurance la couverture des risques associés aux produits incluant des nanotubes.



La Fédération Française des Sociétés d'Assurances (FFSA) indique que le secteur de l'assurance, confronté à l'incertitude scientifique peu compatible avec les exigences de l'opération d'assurance, ne pourra offrir des solutions adaptées qu'à la condition d'un développement des connaissances et de la mise en œuvre d'une politique de maîtrise des risques.

La gestion des risques liés aux nanotechnologies suppose :

- une réelle maîtrise des expositions ;
- des moyens de prévention adaptés mis en œuvre par les entreprises ;
- le « traçage » via un observatoire de santé publique des dommages imputables aux nanotechnologies, si ceux-ci survenaient, et leur suivi dans le temps ;
- des aménagements réglementaires tenant compte de la spécificité des nanotechnologies (dispositif de déclaration obligatoire, élaboration d'un cadre normatif...).

Dans le contexte actuel, la FFSA considère que les nanotechnologies relèvent encore du risque de développement. Or, le risque de développement n'est pas assurable.

Les assureurs déclarent privilégier l'apprentissage du risque au cas par cas. Il convient donc d'adopter une approche sectorielle, car une solution globale semble peu probable.

Le secteur de l'assurance se dit par ailleurs prêt à réfléchir à la mise en place de solutions de transfert de risques, reposant sur les mécanismes de co-réassurance et/ou des partenariats publics / privés, avec les parties prenantes (pouvoirs publics, industriels).

Au niveau international, la FFSA confirme que le problème est identique dans les différents pays et qu'à sa connaissance, aucune solution de transfert de risques liés aux nanotechnologies n'a été mise en place.

3.2 UN EFFORT DE NORMALISATION EN COURS

La normalisation a pour objet de fournir des documents de référence comportant des solutions consensuelles et régulièrement mises à jour, à des problèmes techniques et commerciaux, concernant les produits, les biens et les services, qui se posent de façon répétée dans des relations entre partenaires économiques, scientifiques, techniques et sociaux.

3.2.1 *Le débat normatif au niveau national*

En France, l'AFNOR **considère que les objets nanotechnologiques nécessitent de nouvelles normes**. Dans ses travaux, l'AFNOR souligne qu'il n'y a pas de définition et de terminologie acceptée internationalement. Il n'existe pas non plus de protocole normalisé pour les tests de toxicologie reconnu internationalement et pour l'évaluation des impacts environnementaux. Les méthodes et tests existants sont pour la plupart inadaptés. **Des techniques et instruments de mesures doivent être développés et normalisés**. Des procédures de calibration et des matériaux de référence certifiés sont nécessaires pour valider les instruments de tests.

L'AFNOR conclut que l'acceptation sociétale des nanotechnologies par toutes les parties prenantes ne peut passer que par une communication large et transparente. L'organisme précise que les normes doivent contribuer à montrer que les nanotechnologies sont développées et commercialisées d'une manière ouverte, sûre et responsable. La normalisation devra fournir des protocoles reconnus et validés pour :

- nommer, décrire et spécifier ;
- mesurer et tester ;
- déterminer l'impact sur la santé et l'environnement, évaluer et gérer les risques.

3.2.2 *Le débat normatif dans le contexte international*

À l'échelle internationale, l'OCDE et l'ISO sont les deux organismes principaux qui coordonnent les activités sur la caractérisation des nanomatériaux, leurs dangers ainsi que sur l'évaluation et la gestion des risques.

Pour l'ISO, un groupe ISO TC 229 nanotechnologies a été mis en place en novembre 2005. 31 pays dont la France y participent. Des réflexions sont menées pour élaborer un modèle de nomenclature. Ainsi, les travaux du TC 229 portent sur 4 catégories de normes :

- terminologie et nomenclatures ;
- mesurage et caractérisation ;
- santé, sécurité et environnement ;
- spécifications pour des nanomatériaux identifiés.

Il est important de souligner que jusqu'à présent, seuls les dangers de la manipulation des produits contenant des nanomatériaux lors de la production sont intégrés dans les projets de l'ISO. La question de l'utilisation par des consommateurs n'est pas encore traitée. Certains pays insistent pour mettre en place des discussions sur le sujet.

Dans le compte-rendu de la réunion ISO à Shanghai de novembre 2008, l'association de consommateurs ADEIC note que la société civile et les consommateurs sont peu présents dans les discussions du comité technique 229. Elle juge que les travaux profitent surtout aux grands industriels et aux nations organisatrices. Il reste peu de place pour la société civile et les consommateurs, mais des opportunités s'ouvrent avec la création des deux groupes de réflexion.

Pour l'OCDE, le groupe de travail « Nanomatériaux manufacturés » mis en place accélère ses travaux en travaillant en sous-groupes sur les aspects recherche, études de toxicité, caractérisation, expositions, démarches volontaires et réglementation. L'OCDE a mis en place un programme de parrainage sur la base de 14 nanomatériaux référencés. Le programme vise à caractériser les nanomatériaux les plus utilisés. L'OCDE a demandé aux États-membres de se positionner pour parrainer des études. La participation de la France s'inscrit dans le parrainage d'études de sécurité sur la silice et le TiO₂ et contribue aux études sur les nanotubes de carbone et l'argent. La France portera ses efforts financiers sur les essais suivants :

- caractérisation physico- chimique de ses nanomatériaux ;
- génotoxicité in vivo par voie orale, cutanée et parentérale ;
- études pharmacocinétiques (Absorption/Distribution/Métabolisation/Excrétion) ;
- écotoxicité.

3.3 UN CONTEXTE REGLEMENTAIRE EN EVOLUTION

3.3.1 Le débat sur les adaptations des cadres réglementaires existants

Dans le cadre des débats sur le cadre réglementaire applicable aux nanotechnologies, il convient de rappeler que les producteurs de nanomatériaux constituent le point d'entrée dans la filière des nano-objets. Ils savent caractériser leurs produits en termes de taille et de forme. La caractérisation et la réglementation apparaissent comme plus complexes pour les nanoproducts. Il faut connaître la nature de ce qui doit être recherché dans ce produit fini.

Le directeur du Centre de Droit de la Consommation et du Marché rattaché à l'Université de Montpellier juge nécessaire de s'appuyer sur les règles de protection déjà existantes dans les différentes activités productives, tout en les adaptant et en les complétant au champ des nanotechnologies. Il rappelle qu'il existe des outils pour organiser une concertation entre les producteurs, l'administration et les consommateurs : les textes du code de la consommation³, le code de l'environnement, la réglementation chimique européenne REACH, et la directive de 2001 sur la sécurité générale des produits.

Pour mettre en place un cadre réglementaire adapté aux nanotechnologies, il semble difficile d'envisager une approche globale.

³ Code de la Consommation :

- Le principe de l'obligation générale de sécurité (OGS) - Art L 221-1 du code de la consommation
- L'obligation générale de conformité – Art L 212-1 du code de la consommation
- L'obligation générale d'information – Art L 111-1 du code de la consommation

- **Dans l'industrie chimique**, il n'existe pas encore de réglementation spécifique aux nanotechnologies. L'Union des Industries Chimiques (UIC) indique que les nanomatériaux sont des substances chimiques et à ce titre sont couvertes par REACH. Pratiquement tous les nanomatériaux manufacturés inscrits dans la liste OCDE devront être enregistrés dans REACH.
- **Dans le secteur médical**, les consommateurs et les professionnels sont en accord sur le fait que le cadre général mis en place dans le secteur du médicament et des produits de santé reste pertinent pour les nanomatériaux. Ce cadre réglementaire évalue le rapport bénéfice/risque. Il est basé sur un système d'autorisation préalable de mise sur le marché et de suivi des produits tout au long de leur vie. Les consommateurs se montrent rassurés de savoir qu'il existe, dans le secteur des produits de santé, un dispositif permettant un contrôle à toutes les étapes. Ils notent que le cadre spécifique aux procédures de mise sur le marché de produits médicaux semble difficile à transposer pour les produits de consommation courante.
- **Dans le secteur agroalimentaire :**
 - Les professionnels de l'ANIA estiment qu'une nouvelle réglementation spécifique à l'agroalimentaire sur les nanotechnologies n'est pas nécessaire. Le secteur est couvert au niveau de la réglementation par le règlement Novel Food CE n°258/97. L'usage de toute nouvelle substance à destination de l'alimentation humaine est réglementé et contrôlé. L'aspect « nanotechnologique » de l'aliment ou de l'ingrédient est un élément particulier du dossier scientifique déposé en vue de l'autorisation. L'usage de nanotechnologies ne pourrait donc se faire sans évaluation et autorisation préalable.
 - L'AESA publie son avis scientifique sur la nanoscience et les nanotechnologies en relation avec la sécurité de l'alimentation humaine et animale. Le comité scientifique de l'AESA a conclu que les méthodes reconnues au niveau international, en matière d'évaluation des risques, pouvaient aussi être appliquées aux nanomatériaux manufacturés. Le comité scientifique a aussi conclu qu'une approche au cas par cas serait nécessaire. En outre, la Commission européenne a confié un mandat à l'AESA, pour obtenir un avis sur les risques liés aux nanotechnologies dans la filière agroalimentaire. Le travail du groupe de travail a commencé en janvier 2008.
 - Il faut signaler qu'une étude irlandaise sur les nanotechnologies dans l'alimentation juge nécessaire d'adapter la législation pour s'assurer qu'une denrée alimentaire ou un aliment pour animaux soit réévalué en terme de sécurité sanitaire, dès lors que ses propriétés ont été modifiées à l'échelle nanométrique. Le rapport préconise également un étiquetage particulier.
 - Aux Etats-Unis, il faut noter les limites de l'autorité de la Food and Drug Administration (FDA) pour les produits contenant des nanomatériaux du fait du peu d'expertise de l'agence sur l'évaluation de ces produits.

- Dans cet esprit, des Organisations non Gouvernementales (ONG) appellent à une législation adaptée aux nanoparticules dans l'alimentation. Ainsi, les Amis de la Terre (branche européenne de Friends of the Earth) indiquent que « *Plus de 104 produits issus de l'industrie agro-alimentaire intégrant des nanoparticules sont actuellement en vente dans l'Union européenne sans aucune législation adaptée. Faute d'étiquetage obligatoire, de débat public ou de loi garantissant leur innocuité, les nanotechnologies sont entrées dans la chaîne alimentaire* ».

3.3.2 La prise en compte des positions de l'Europe

Dans ce contexte, il convient de prendre en compte les enjeux réglementaires au niveau européen.

Dans une communication du 17 juin 2008 sur les aspects réglementaires des nanomatériaux, la Commission européenne indique que pour les aspects des nanomatériaux liés à la santé, à la sécurité et à l'environnement, les textes législatifs simultanément applicables sont ceux qui régissent les substances chimiques, la protection des travailleurs, les produits et la protection de l'environnement. La Commission conclut que "**la législation actuelle couvre en principe les risques potentiels des nanomatériaux pour la santé, la sécurité et l'environnement. La protection de la santé, de la sécurité et de l'environnement doit être renforcée essentiellement grâce à une mise en œuvre améliorée de la législation existante**".

- **Adaptation de la réglementation REACH**

Le Règlement européen d'enregistrement, évaluation et autorisation des produits chimiques (REACH) oblige les industriels à fournir la preuve que leurs produits ne présentent pas de risque pour la santé (travailleurs, population riveraine des sites et consommateurs) et l'environnement. La Direction Générale de la Santé et Protection des Consommateurs de la Commission européenne reconnaît qu'il existe dans ce règlement une zone floue concernant les nanoparticules. Un groupe de travail a été mis en place en 2008, par la Direction Générale de l'Environnement de la Commission européenne sur l'applicabilité du règlement REACH aux nanomatériaux. Ce groupe, composé d'ONG, d'industriels et des Etats membres se réunira jusqu'en 2012, à raison de 2 réunions par an. La révision de la réglementation REACH est prévue pour 2012.

Le comité Environnement du parlement européen a adopté un rapport en avril 2009 appelant à un contrôle plus strict des nanotechnologies⁴. **Il recommande notamment l'application du principe « pas de données, pas de marché » issu du règlement REACH pour les nanotechnologies**. Le comité recommande de retirer du marché les produits jusqu'à ce que l'évaluation du produit soit faite.

⁴ <http://www.euractiv.com/en/science/data-market-nanotechnologies-meps/article-180893>

○ *La position de la France sur REACH*

Pour les autorités françaises, la réglementation REACH ne répond pas totalement à la problématique des nanomatériaux, du fait d'un problème d'identification des structures à l'état nanoparticulaire. La France souligne la nécessité de prendre en compte dans REACH le caractère très particulier des nanomatériaux. Elle rappelle également la nécessité de disposer d'informations fiables permettant d'assurer que ces nanomatériaux présentent un risque minimal du fait de leurs propriétés intrinsèques, tel que prévu à l'article 2.7 a) de REACH.

Les autorités françaises considèrent que la définition des nanomatériaux dans le contexte de REACH passe par une caractérisation approfondie de ces nouveaux matériaux. La France recommande des adaptations en termes d'exigences d'informations, de caractérisation et de tests vis-à-vis de leurs particularités, différentes de celles des substances chimiques « classiques ». Dans ce contexte, les autorités françaises sont favorables à :

- la définition de critères physico-chimiques pertinents ;
- l'établissement d'une nomenclature spécifique dédiée aux nanomatériaux ;
- l'insertion, dans la fiche de données de sécurité, d'une rubrique relative aux propriétés particulières du nanomatériau.

La procédure d'enregistrement dans REACH ne s'impose qu'à partir d'une tonne par an par producteur ou importateur et le rapport de sécurité uniquement à partir de 10 tonnes par an.

Les autorités françaises estiment que ces seuils sont inadaptés aux substances mises sur le marché à l'échelle nanométrique. En effet, à masse égale, les nanomatériaux présentent, notamment par rapport à des substances d'une échelle plus grande, une surface d'échange beaucoup plus importante pouvant favoriser les interactions avec les membranes biologiques et/ou la fixation de composés éventuellement toxiques. La prise en compte des nanomatériaux dans le cadre actuel de REACH, c'est-à-dire seulement au-delà d'une tonne par an, risque de laisser de côté un grand nombre de fabrications. REACH nécessiterait donc d'être amendé afin d'identifier et de connaître spécifiquement les usages et les dangers des substances nanométriques qui peuvent être produites à moins d'une tonne par an. Il convient de noter qu'au niveau international, le Canada a rendu obligatoire la déclaration des nanomatériaux pour un seuil ramené à 1kg.

En termes d'information dans la chaîne de distribution, les autorités françaises considèrent qu'une fiche de données de sécurité spécifique est un outil indispensable pour identifier, caractériser et appréhender les dangers des nanomatériaux mis sur le marché et donc a minima pour documenter leur traçabilité.

Il convient de noter que les associations de consommateurs questionnent également la pertinence de REACH dans sa forme actuelle pour couvrir les risques associés aux nanotechnologies. Une extension ou une adaptation de REACH semble également nécessaire de leur point de vue.

- **Le Règlement Cosmétiques**

En 2009, le Parlement européen et le Conseil ont adopté un nouveau règlement (règlement n°1223/2009 du 30 novembre 2009 paru au J.O.U.E. du 22 décembre 2009) où la sécurité des produits dans le secteur des cosmétiques est renforcée. Tout fabricant souhaitant incorporer des nanomatériaux dans l'un de ses produits devra, 6 mois avant la mise sur le marché, en informer la Commission européenne. Le règlement prévoit également un étiquetage des ingrédients nanométriques. Ainsi, le fabricant devra indiquer la présence d'éventuels nanomatériaux dans la liste des ingrédients qui figure déjà obligatoirement sur tous les produits.

Les associations de consommateurs notent qu'après le Règlement Cosmétiques, l'étiquetage « nano » ne restera probablement pas limité aux produits du secteur des cosmétiques. Les professionnels rappellent que le Parlement européen ne peut pas prendre l'initiative de rendre obligatoire l'étiquetage des autres produits. Il ne pourra le faire que si on lui soumet un nouveau texte applicable à des nouveaux produits.

Les associations de consommateurs font part de leurs incertitudes autour de la sécurité des nanotechnologies. Pour certains nanomatériaux comme les nanotubes de carbone, le risque a été évalué. Mais pour la plupart des familles de nanomatériaux, les données sont insuffisantes pour évaluer correctement leurs risques.

Il est donc nécessaire de porter les efforts sur les méthodes de caractérisation reproductibles et fiables. **Face aux risques potentiels, les pays soulignent la pertinence de mettre en place des normes et des réglementations adaptées aux spécificités des nanotechnologies.** De nombreux travaux sont en cours à l'échelle internationale. Des adaptations semblent à prévoir dans les réglementations générales ou sectorielles existantes pour encadrer l'usage des nanotechnologies. La mise en place de réglementations, secteur par secteur, semble être la première voie possible à l'instar de ce qui a été fait pour les cosmétiques avec l'adoption du règlement cosmétiques n° 1223/2009 du 30 novembre 2009 du Parlement européen et du Conseil. Au niveau européen, une extension ou une adaptation de la réglementation REACH semble nécessaire.

Dans ce contexte de réflexion sur l'émergence d'un cadre réglementaire adapté, il convient impérativement d'envisager la mise en place de mécanismes pour informer les consommateurs sur les nanotechnologies et leurs effets.

4 LES DEBATS SUR LA MAITRISE DE L'USAGE DES NANOTECHNOLOGIES

Il convient de rappeler que l'avis du groupe de travail du Conseil National de la Consommation concerne les « nanomatériaux manufacturés ».

4.1 UN BESOIN D'INFORMATION DES CONSOMMATEURS

Il apparaît à travers différents débats que les consommateurs sont en attente d'informations sur les nanomatériaux présents dans les produits de consommation et sur les risques associés à l'usage des nanoproduits. Ainsi, il est utile de rappeler les suggestions formulées à ce sujet par les membres du groupe de travail du CNC, mais aussi l'ouverture de cette problématique lors du débat public du Grenelle de l'Environnement, et enfin les suggestions externes au groupe de travail du CNC.

- **Les suggestions externes au groupe de travail pour une meilleure information aux consommateurs**

En octobre 2008, la DG SANCO a organisé un colloque pour faire un état des lieux des risques, de la réglementation et de la recherche. Les demandes les plus récurrentes concernent :

- une information transparente et sûre ;
- une information sur la composition des produits ;
- une définition qui ne se limite pas à la taille mais porte également sur les propriétés ;
- une communication sur les bénéfices/risques, et risques/management ;
- une approche au cas par cas ;
- une information sur la mise en œuvre, en complément des réglementations.

Dans le cadre des débats « nanotechnologies » de la Cité des Sciences et de l'Industrie, l'association Sciences et Démocratie propose :

- d'étendre le concept d'Autorisation de Mise sur le Marché (AMM) à tout produit ayant potentiellement un effet sanitaire ;
- d'intégrer les citoyens dans l'évaluation des rapports bénéfices/risques et des questions éthiques ;
- d'exploiter les potentialités d'Internet pour permettre une participation large de citoyens "éclairés" ;
- de repenser les débats autour des nanotechnologies.

Des propositions sont faites pour matérialiser la présence de nanomatériaux par un label sur les produits. Le groupe « nanos » de l'OCDE propose la création d'un label qui pourrait afficher l'information « produit », en anglais « comportant des nanoparticules, sûr et conforme au développement durable de sa conception à sa fin de vie nano safe and sustainable by design ».

Il apporterait aux consommateurs l'information dont ils ont besoin pour se déterminer. La Confédération Européenne des Syndicats (CES) demande l'étiquetage de tous les produits de consommation qui contiennent des nanomatériaux manufacturés pouvant être rejetés dans les conditions normales et prévisibles d'utilisation ou de mise en décharge.

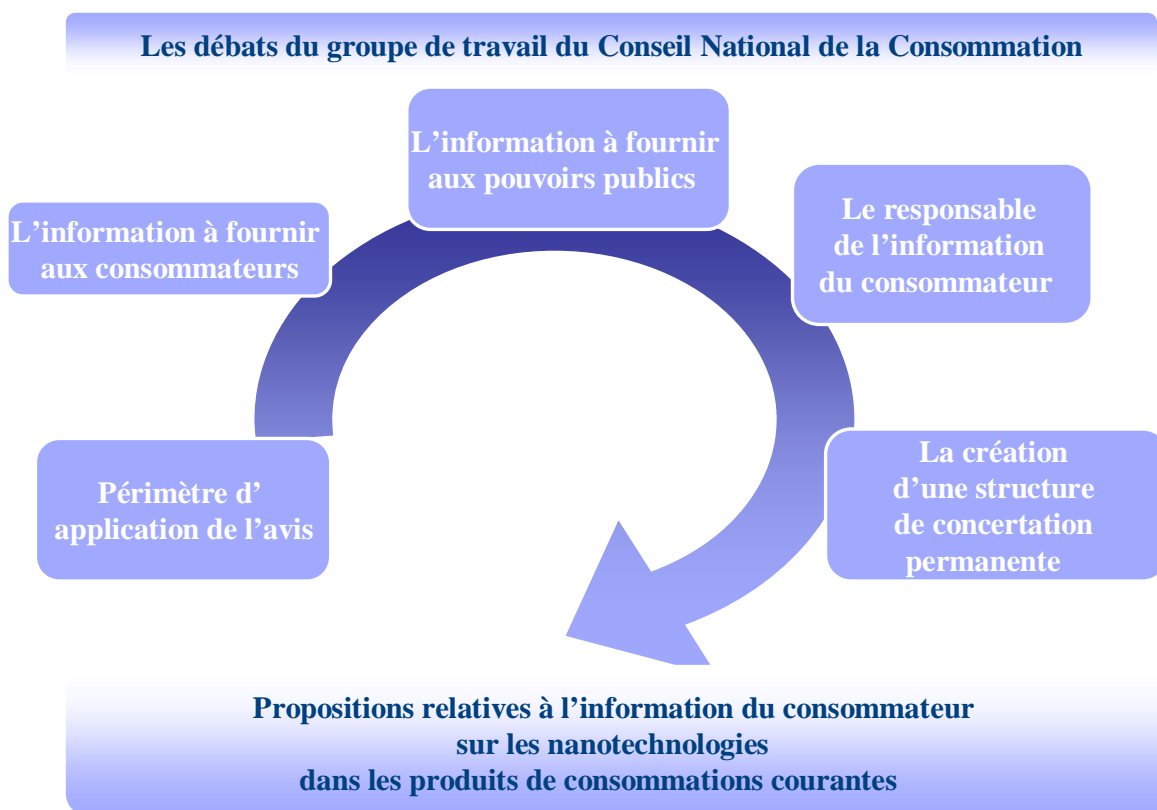
Face aux manques de connaissances sur les nanotechnologies, des demandes sont formulées pour établir une feuille de route de la recherche sur la caractérisation des nanomatériaux et un recensement des nanoparticules sur le marché :

- Le groupe « nanos » de l'OCDE recommande que les chercheurs travaillent sur des feuilles de route méthodologiques et que soit dressé un inventaire des nanoparticules de synthèse. Il insiste sur la nécessité de former scientifiquement des experts qui permettront aux industriels, aux citoyens, aux organisations de consommateurs et à la puissance publique de commanditer la mise en place de tests de contrôle.
- Le Centre de Droit de la Consommation et du Marché recommande également la mise en place d'un registre des nanomatériaux et un recensement des entreprises qui en fabriquent ou en importent. Cet outil permettrait une meilleure information et une meilleure gestion en cas de crise sanitaire liée aux nanotechnologies.
- Le Comité Consultatif National d'Ethique a émis un certain nombre de recommandations lors de l'université d'été du MEDEF dont :
 - des stratégies de réflexion éthique au sein du « triangle des connaissances » entre recherche, formation et transfert, notamment pour ce qui concerne la R&D,
 - une nanométrie suffisante,
 - une responsabilité du financement de la recherche par l'industrie en collaboration avec la recherche publique,
 - une transparence et une diffusion continue des acquis scientifiques avec des textes législatifs qui soient applicables aux nanoparticules et aux nanomatériaux.
- **Les débats sur les nanotechnologies dans le cadre du Grenelle de l'Environnement**

Le projet de loi Grenelle II de l'Environnement a prévu à l'automne 2009 l'organisation d'un débat public national sur l'utilisation des substances à l'état nanoparticulaire. En effet, en septembre 2008, le Comité Opérationnel 19 du Grenelle Environnement, traitant des questions de veille sanitaire et des risques émergents, a confirmé les besoins d'études, de recherches, d'information du public et de concertation à propos des nanotechnologies.

- **Les débats et suggestions au sein du groupe de travail du CNC pour une meilleure information aux consommateurs**

Le groupe de travail du CNC va formuler des propositions relatives à l'information du consommateur sur les nanotechnologies dans les produits de consommation courante. Un débat a été organisé avec les associations de consommateurs, les professionnels et l'administration afin d'obtenir un consensus. **L'objectif commun des consommateurs et des professionnels est une introduction réussie et maîtrisée des nanotechnologies.**



Les débats entre le collège des consommateurs et celui des professionnels porte en premier lieu sur le périmètre d'application de l'avis à rendre :

- L'avis du CNC ne s'intéresse pas aux substances existant naturellement à échelle nanométrique. Il concerne les produits dans lesquels sont introduits des nanomatériaux dans le processus de production. Ainsi, l'usure des pneus, qui libère de la masse du pneu des particules de taille nanométrique, n'entre pas dans le périmètre de l'avis.
- Les professionnels ne souhaitent pas inclure les nanoémulsions dans le périmètre de l'avis. A la différence des nanomatériaux, il ne s'agit pas de nanoparticules qui vont être maintenues dans le milieu. Par exemple, dans le cas d'une nanoémulsion dans une peinture, lorsque la peinture sèche, les gouttelettes disparaissent pour former un film uniforme. Les nanoémulsions utilisées dans les cosmétiques sont des gouttelettes d'eau ou d'huile réduites à la taille nanométrique qui éclatent au contact de la peau au moment de l'application. Les nanoémulsions cosmétiques ne franchissent donc pas la barrière cutanée.»
- Les professionnels ne souhaitent pas mettre de références à la taille de la nanoparticule.
- Les consommateurs soulignent la difficulté de prévoir la façon dont les nanomatériaux vont être intégrés, mis en œuvre et développés dans le futur. Le groupe se trouve donc dans une phase « préventive ».



Le débat au sein du groupe de travail porte également sur l'information à fournir au consommateur :

Les consommateurs souhaitent que les principes de l'avis du CNC soient valables pour tous les secteurs. Ils souhaitent aussi que si un effet nano temporaire est garanti, le consommateur soit informé du délai à la fin duquel il disparaît.

Les professionnels rappellent la nécessité de conserver la « confidentialité » des secrets de fabrication. Il convient de fixer un niveau de détail des éléments diffusés permettant à la fois d'évaluer la toxicité éventuelle et de respecter la confidentialité.

Le groupe de travail du CNC considère que la présence d'une mention avec ou sans nano n'est pas suffisante pour répondre aux besoins des consommateurs.

5.1 MANDAT DU CNC SUR LES NANOTECHNOLOGIES

Basées sur les progrès récents des nanosciences, qui décrivent les propriétés de la matière aux échelles atomique, moléculaire et macromoléculaire, les nanotechnologies, qui ont pour objet d'utiliser les matériaux à ces échelles, sont à l'origine de nombreuses innovations. Par exemple, elles permettent le stockage de données présentant des densités d'enregistrement très élevées, elles vont continuer à révolutionner l'informatique et en particulier les dispositifs d'affichage, elles trouvent des applications dans les domaines de la production et du stockage de l'énergie, du diagnostic et des traitements médicaux, de l'alimentation, de l'habillement, des cosmétiques, des vernis et peintures, du marquage des produits, de la sécurité, ainsi que de la détection et de la neutralisation des pollutions.

Bien qu'encore mal connues du grand public, les nanotechnologies sont ainsi à l'origine d'évolutions d'une portée considérable qui devraient avoir des répercussions dans pratiquement tous les secteurs de l'économie et apporter des réponses nouvelles pour la satisfaction des besoins des consommateurs, dont elles transformeront le quotidien. Elles apparaissent donc comme des technologies-clés du 21^{ème} siècle.

En raison du potentiel qu'elles recèlent, les nanotechnologies sont devenues un enjeu essentiel pour la compétitivité des économies des pays. Les dépenses mondiales publiques et privées dans les nanosciences et nanotechnologies au cours de la période 2004-2006 se sont élevées à environ 24 milliards d'euros, dont le quart en Europe. Suivant les prévisions de la Commission européenne : "le marché mondial des nanotechnologies devrait représenter entre 750 et 2000 milliards d'euros d'ici à 2015 et le potentiel de création d'emplois pourrait atteindre 10 millions d'emplois liés aux nanotechnologies d'ici à 2014, soit 10 % de la totalité des emplois des industries manufacturières dans le monde".

Or, un usage mal maîtrisé des nanotechnologies serait de nature à entraîner des risques graves pour la santé et la sécurité des consommateurs ou pour l'environnement. Mal maîtrisés, ces risques pourraient altérer la confiance des consommateurs comme le rappelle l'avis du Conseil économique et social du 25 juin 2008 sur les nanotechnologies : "Il est bien connu que les peurs naissent de la méconnaissance des phénomènes mais aussi du sentiment que les préoccupations exprimées ne sont pas prises en compte".

A la demande de plusieurs associations de consommateurs, le Ministre a donc décidé l'organisation, dans le cadre du Conseil national de la consommation, d'un groupe de travail dont l'objet sera :

- de rassembler des informations sur l'utilisation des nanotechnologies pour la production de biens et de services destinés aux consommateurs (nature des applications, poids économique global et par secteur, nombre de consommateurs concernés, avantages apportés ...)
- d'entendre des experts sur les risques associés à ces productions, sur les démarches suivies ou à engager pour **connaître, réduire et supprimer ces risques**, et en particulier sur les études à conduire ;



- d'organiser le dialogue économique entre les professionnels et les consommateurs pour **examiner** avec réactivité **les problèmes nouveaux que peuvent soulever les nanotechnologies** ;
- **d'évaluer l'efficacité des règles juridiques existantes et des dispositifs de contrôle qui protègent le consommateur** lorsqu'il acquiert ou utilise des produits incorporant des nanotechnologies ;
- **d'identifier les besoins de régulation que les nanotechnologies** font apparaître et de formuler, s'il y a lieu, des propositions visant à **compléter la législation et la réglementation, au niveau national ou européen**, afin de les adapter au contexte du développement des nanotechnologies ;
- de permettre **la mise en place d'une information simple et compréhensible du consommateur sur les nanotechnologies**, les avantages qu'elles procurent, les risques qu'elles peuvent comporter et les précautions qu'elles appellent ; cette réflexion portera non seulement sur l'information à caractère général concernant ces technologies mais aussi sur celle qui doit accompagner chaque produit mis sur le marché à titre gratuit ou onéreux.

5.2 LES MEMBRES DU GROUPE DE TRAVAIL

- **Associations de Consommateurs :**

Christian HUARD	ADEIC, rapporteur
Sylvie HIERSO	ADEIC
Bernard UMBRECHT	ADEIC
Frédérique PFRUNDER	CLCV
Pierre DUPONT	CLCV
Patrice BOUILLON	INDECOSA
Olivier GERARD	UNAF
Yannick PAIN	AFOC
Etienne DEFRANCE	AFOC
Florence LAFEUILLE	CNAFC
Nicole BALMAIN	FR
Elsa COHEN	CSF
Emmanuel RODRIGUEZ	CSF
Bernard CHEVALIER	ORGECO
Jeanne GROSCLAUDE	ASSECO-CFDT
Anne-Sophie TRCERA	FNAUT



- **Professionnels :**

Loïc ARMAND	MEDEF, rapporteur
Alain GRANGE-CABANE	FEBEA
Anne DUX	FEBEA
Magali BOCQUET	FCD
Alain LOMBARD	Allotoxconsulting
Alain DERYCKE	Université Lille
Julie EVRARD	Syndicat St Eloi
Laurent LEVY	Nanobiotix
Christophe LEGRAVEREND	Groupe CARREFOUR
Alexandre MEHL	Generali/FFSA
Patrick SCHMITT	MEDEF
François REMOUÉ	MEDEF
Laure JOLLY-ZARROUCK	NESTLÉ-France
Daniel BERNARD	UIC
Valérie LUCAS	UIC
Xavier MORIZE	Confédération paysanne
Georges SOREL	Représentant du Conseil Commercial de France
Daniel BLOCH	CEA Grenoble
Gérard THOMAS	UIPP
Philippe MICHEL	UIPP
Eric GAFFET	CNRS Montbéliard
Jean-François MONNET	Organisation professionnelle du secteur Textile-Habillement
Christine REICHENBACH	UDA
Alain DEVYCHE	SNEVD
Khalid ZAHOUILY	CGPME
Nadège GAUVIN	FIPEC
Joël URBAN	FICIME
Christine GORMOTTE	MEDEF
Léonard COX	MEDEF

- **Administration :**

Marie-Thérèse MARCHAND	DGCCRF
Caroline QUINIO	DGAL
Charlotte GRASTILLEUR	DGAL
Stéphanie BORDES	DGAL
Marion SANDRIN	DGAL
Olivier BIGET	DAJ
Louis TREPIED	DGCIS



Arla POCHET	DGS
Didier THOUENON	DGCCRF – UECRF
Serge PICCOLO	DGCCRF – UECRF
Michel MARTIN	DGCCRF – UECRF
Dominique GIRAULT	DGCCRF Bur C2
Carole ROSEAU	DGCCRF Bur C4
Anne-Marie RISI	DGCCRF Bur C4
Catherine WISS	DGCCRF Bur C4
Eliane MOUNOT BARDIN	DGCCRF Bur C4
Claude DUCHEMIN	DGCCRF Bureau C3
Catherine RIOUX	DGCCRF Bureau E1
Sandrine GAQUEREL	DGCCRF Bureau C2
Daniel MILES	DGCCRF Bureau E1
Brigitte POUYET	SCL

- **Autres participants :**

Rémi REUSS	INC
Marie-Jeanne HUSSET	INC
Christian de THUIN	INC
Johanna FERRER	INC
Benoît CROGUENNEC	AFNOR
Dorothee BENOIT-BROWAEYS	VIVAGORA
Alain BLOGOWSKI	CNA
Aurélie NIAUDET	AFSSET
Guillaume BOURDEL	AFSSET
Olivier MERCKEL	AFSSET
Marie-Christine FAVROT	AFSSA
Yves BERTHEAU	INRA

5.3 PERSONNALITES AUDITIONNEES

Louis LAURENT	ANR
Henri TEMPLE	Université de Montpellier
Alain OBADIA	Conseil Economique et Social
Dorothee BENOIT-BROWAEYS	Vivagora
Xavier GUCHET	Université Paris 1
Vanessa NUROCK	CEA
Françoise ROURE	Vice-présidente du groupe « nanotechnologies » de l'OCDE
Catherine CHAPALAIN	ANIA
Mme Camille HELMER	ANIA
Pauline RAUST	ANIA
Virginie GUERIN	ANIA

Agnès DAVI	ANIA
Francis QUINN	L'OREAL
Eric DUFOUR	L'OREAL
Pascal RUMEAU	IFTH
Pierre-Yves ARNOUX	LEEM
Eric THIBAUD	INERIS
Eric GAFFET	CNRS
Olivier LE BIHAN	INERIS
Francis PETERS	MICHELIN
Nadège GAUVIN	FIPEC

5.4 GLOSSAIRE

- **Nanotechnologie** : compréhension et contrôle de la matière et des processus à l'échelle nanométrique, typiquement, mais non exclusivement, au-dessous de 100 nanomètres, dans une ou plusieurs dimensions quand l'apparition de phénomènes liés à la dimension permet en général de nouvelles applications.
- **Nanomatériau** : matériau possédant des propriétés particulières du fait de sa structure nanométrique.
- **Nanomatériau manufacturé** : nanomatériau fabriqué intentionnellement par l'homme dans un cadre industriel ou de recherche.
- **Nanoparticule** : particule de matière formée d'atomes et de molécules, qui comporte une ou plusieurs dimensions pouvant mesurer entre 1 et 100 nanomètres et qui possède des propriétés physicochimiques particulières.
- **Nano-objet** : objet dont toutes les dimensions dans l'espace sont de l'ordre du nanomètre.
- **Nanotube** : filaments creux, fermés, d'un diamètre de l'ordre du nanomètre.
- **Nanométrie** : permet la mesure d'éléments inférieurs au micromètre et assure la conformité de ces mesures avec les références internationales.
- **Nanotoxicologie** : toxicologie liée aux nanoparticules.
- **Cytotoxicité** : propriété qu'a un agent chimique ou biologique d'altérer des cellules, éventuellement jusqu'à les détruire.
- **Génotoxicité** : Propriété d'une substance de produire des mutations affectant le patrimoine génétique des organismes exposés.
- **Nanomédecine** : application des nanotechnologies dans le but de traiter, de prévenir les maladies ou d'établir un diagnostic médical.
- **Ecolabel** : Reconnaissance et promotion des produits plus respectueux de l'environnement sur l'ensemble de leur cycle de vie.

5.5 BIBLIOGRAPHIE

N° référence	Titre du document - auteur, <i>date de publication</i>
1	Nanomatériaux : différentes voies de synthèse, propriétés, applications et marchés - Eric GAFFET, <i>septembre 2008</i>
2	Résolution de CES sur les nanotechnologies et les nanomatériaux - Comité Exécutif de le Confédération Européenne des Syndicats, <i>25 juin 2008</i>
3	Nanomatériaux : Positionnement des compétences françaises - Développement et Conseil, <i>janvier 2008</i>
4	Les usages - Exposition nanotechnologies Cité des sciences Paris
5	Au Creusot, Degré7 joue la carte des textiles nanotechnologiques - Nicole VULSER, <i>10 décembre 2008</i>
6	Un secteur à fort potentiel économique - Louis TREPIED, <i>septembre 2008</i>
7	Principes de surveillance des nanotechnologies et nanomatériaux - Eric GAFFET, <i>25 novembre 2008</i>
8	In nano veritas - Alain GRIMFELD, <i>28 août 2008</i>
9	Etat d'avancement des travaux InVS sur la problématique nanomatériaux en juin 2008 - C. BUISSON, <i>10 juin 2008</i>
10	Swiss Government publishes Precautionary Matrix for Synthetic Nanomaterials - Swiss Federal Office of Public Health, <i>03 décembre 2008</i>
11	Method for the characterization of the abrasion induced nanoparticle release into air from surface coatings - Manuel VORBAU, Lars HILLEMANN et Michael STINTZ, <i>octobre 2008</i>
12	Compte rendu de la réunion du Groupe Consultatif Européen des Consommateurs (GCEC) - GCEC, <i>3 et 4 juin 2008</i>
13	Nanotechnologies et alimentation : Etat des lieux et incertitudes - William DAB, <i>7 février 2008</i>



- 14 **Continental Western Insurance Group : Exclusion form CW 33 69 Nanotubes and Nanotechnology Exclusion**
- 15 **Communication de la commission au parlement européen, au conseil et au comité économique et social européen : aspects réglementaires de nanomatériaux** - Commission des communautés européennes, *17 juin 2008*
- 16 **ISO TC 229 "Nanotechnologies"**
- 17 **Rapport FSAI Dublin : Nanotechnologies**
- 18 **A hard pill to swallow : Barriers to Effective FDA Regulation of Nanotechnology-Based Dietary Supplements** - William B. SCHULTZ & Lisa BARCLAY, *17 janvier 2009*
- 19 **Du labo à l'assiette, les nanotechnologies en roue libre** - AFP, *12 mars 2008*
- 20 **Conclusions du conseil concernant une recherche responsable en nanosciences et nanotechnologies** - Conseil de l'Union Européenne, *30 septembre 2008*
- 21 **No data, no market' for nanotechnologies, MEPs say** - *02 avril 2009*
- 22 **Nano-regulation creeps closer** - Victoria GILL, *25 février 2009*
- 23 **Contribution de Sciences et Démocratie au bilan sur les débats "nanotechnologies" de la Cité des sciences et de l'industrie** - Philippe BOURLITIO
- 24 **Groupe de travail sur les nanotechnologies** - Eric GAFFET, *21 janvier 2009*

5.6 INTERVENTIONS

Sommaire des interventions devant le groupe de travail du Conseil National de la Consommation.

N° référence	Titre du document - auteur, <i>date de publication</i>
25	La dimension nanométrique - Docteur Eric GAFFET, <i>08 septembre 2008</i>
26	Intervention du Docteur LOMBARD - <i>08 septembre 2009</i>



- 27 **Deuxième Intervention du Dr Eric GAFFET** - 08 septembre 2009
- 28 **Avis rendu par le Conseil économique et social sur les nanotechnologies devant le CNC** - Alain OBADIA, 25 septembre 2008
- 29 **Intervention de M. Xavier GUCHET** - Xavier GUCHET, Université de Paris I, 21 octobre 08
- 30 **Nanotechnologies : la prise en compte des aspects éthiques, légaux et sociétaux dans les dynamiques institutionnelles internationales** - Docteur Françoise D. ROURE, 21 octobre 2008
- 31 **Enjeux éthiques des Nanotechnologies** - Intervention du Dr Vanessa NUROCK, CEA, 21 octobre 2008
- 32 **Intervention du Professeur Henri Temple** - Henri TEMPLE, Université de Montpellier, 24 novembre 2008
- 33 **Rapports et études sur les nanomatériaux** - Anne DUX, 25 septembre 2008
- 34 **Nanotechnologies: normalisation** - Commission de normalisation AFNOR, « nanotechnologies et nanomatériaux », Daniel BERNARD, Benoît CROGUENNEC, 06 octobre 2008
- 35 **Les nanotechnologies et l'alimentation** - Louis LAURENT, ANR, 12 novembre 2008
- 36 **Nanotechnologies dans les peintures et vernis** - FIPEC, 24 novembre 2008
- 37 **Nanotechnologies et agroalimentaire** - Catherine CHAPALAIN, Directeur général de l'ANIA, 24 novembre 2008
- 38 **Assurance et nanomatériaux** - Alexandre MEHL, GENERALI / FFSA, 24 novembre 2008
- 39 **Travaux de l'Afsset sur la thématique des nanomatériaux** - Afsset, 21 octobre 2008
- 40 **Risques sanitaires et nutritionnels liés aux nanotechnologies dans les domaines de l'alimentation humaine et animale et de l'eau de consommation** - Marie-Christine FAVROT, Afssa, juin 2008
- 41 **L'Industrie Chimique et Les Nanotechnologies** - Daniel BERNARD, UIC, 24 novembre 2008



- 42 **Applications santé des nanotechnologies Nanomédecine** - Pierre-Yves ARNOUX, Leem / Laurent LEVY, Ph.D. CEO Nanobiotix, *12 novembre 2008*
- 43 **Intervention de l'Union des Industries de la protection des plantes** - Gérard THOMAS, Directeur Affaires Règlementaires et Technique, Syngenta Agro, *12 novembre 2008*
- 44 **Nanotechnologies en cosmétique** - Anne DUX, Eric DUFOUR, Francis QUINN, *24 novembre 2008*
- 45 **Pneumatiques Impact sur l'environnement** - Francis PETERS, Michelin, *09 novembre 2008*
- 46 **Recherche & Innovation : Nanomatériaux et textiles** - Dr Pascal RUMEAU, IFTH, *10 février 2009*
- 47 **Produits finis et nanoparticules : relargage ? Développement de systèmes expérimentaux** - Olivier LE BIHAN, INERIS, *09 janvier 2009*
- 48 **Contribution de ConsoFrance** - Daniel FONDOULIS, Valérie GERVAIS, Patrice BOUILLON, *10 décembre 2008*

5.6.1 La dimension nanométrique - Docteur Eric GAFFET, 08 septembre 2008

INTERVENTION DU DR ERIC GAFFET

Le rapport « Nanomatériaux et sécurité au travail » est paru en juillet 2008 et l'AFSSET a également édité un document intitulé « Nanomatériaux : effets sur la santé de l'homme et sur l'environnement » en 2006.

La dimension nanométrique

Les nanomatériaux et les nanotechnologies concernent actuellement d'ores et déjà de nombreux produits et sont déjà commercialisés dans l'ensemble des secteurs industriels que l'on peut considérer comme classiques pour les autres technologies et / ou autres matériaux.

Si l'on considère la dimension nanométrique, le Comité ISO a conclu, en juin 2008, qu'il n'y a aucune définition (en terminologie) au niveau international des nanomatériaux ; aucun protocole agréé accepté au niveau international portant sur les tests de toxicité ; aucun protocole expérimental sur les effets sur l'environnement normalisé au niveau international. Depuis 2 ans et demi, le comité ISO se réunit pour arriver à une notion de terminologie telle que « qu'est-ce qu'une dimension nanométrique » qui n'est toujours pas définie.

Pour avoir un élément de comparaison et se rapprocher de la dimension nanométrique, un neurone a une dimension de 10 à 50 micromètres (μm), soit 10.000 à 50.000 fois supérieure au nanomètre (nm). Compte tenu de cette très petite dimension, on comprend que l'on puisse s'intéresser à l'interaction de nanoparticules avec l'environnement et l'homme. Pour illustrer d'une part, la dimension nanométrique mais aussi la capacité de la nature à construire des nanostructures et de façon reproductible à très grande échelle un cheveu croît de 1 à 10 nm/seconde.

S'agissant de l'ensemble des nano objets, il convient de rappeler qu'il existe deux grandes familles : une famille de nanoparticules d'origine naturelle et une famille de nanoparticules dites manufacturées, c'est-à-dire produite par l'homme (ou encore anthropique).

Dans la famille d'origine naturelle, on distingue :

- la famille d'origine biologique (issue par exemple de la dégradation des squelettes et / ou exostructures animales);
- celle produite par les volcans (4 millions de tonnes par an émises dans l'atmosphère terrestre) et les incendies de forêts (500 000 à 1 million de tonnes par an de poussières de suie) ;
- enfin, 40 000 tonnes de nanoparticules cosmiques par an viennent s'ajouter à cela.

Il convient ensuite de déterminer les 3 phases d'émissions de nanoparticules à partir de nano objets produits par l'homme :

- au moment de l'élaboration des objets ;
- en cours d'usure ou en cours d'utilisation des objets ;
- en cours de recyclage éventuel.

Si nous revenons sur la difficulté à aboutir à une définition d'une terminologie normative, sur ce transparent sont indiqués pour cinq pays différents, les définitions des nanotechnologies / nanomatériaux.

Si l'on considère une approche de type physico-chimie, un nanomatériau est un matériau pour lequel, en-dessous d'une certaine dimension de cristallites, il y aura une variation brutale d'une ou plusieurs propriétés physico-chimiques (variation du point de fusion, variation de propriétés magnétiques par exemple).

Il convient de noter que sont considérés comme nano les objets ayant une de leurs dimensions caractéristiques en-dessous de 100 nm. Toutefois, certains objets sont considérés comme nano bien qu'ayant une dimension supérieure à ce seuil.

Concrètement, 4 grandes familles de nano-objets existent :

- les poudres ultra-fines, particules isolées dont le diamètre est en dessous de 100 nm ;
- le secteur des revêtements unidimensionnels : (industrie des semi-conducteurs) Ce sont des multicouches complexes que l'on trouve par exemple dans les circuits intégrés ;
- le domaine des revêtements épais concernant les produits ou revêtements résistant à la corrosion et à l'usure ;
- les matériaux nanostructurés à 3 dimensions : poudres microniques classiques, mais nanostructurées ou pièces massives comme des bielles ou des soupapes.

La morphologie des nanoparticules est variée, cela peut aller des nanotubes de carbone à des bâtonnets allongés aux structures à ressort comme le silicium en zig-zag ou du fluorure de magnésium. Il ne s'agit donc pas simplement de sphères comme on pourrait l'entendre de façon commune.

Dans le domaine des revêtements nano-structurés, existent des revêtements nano-structurés pouvant être nano-poreux et dont les porosités sont à l'échelle de quelques nm. Cette spécificité est employée dans les filtres les catalyseurs ou les batteries.

Dans le cas d'une autre grande famille plus récente, découverte en 1985 pour les fullerènes et en 1991 pour les nanotubes de carbone, les plans de graphite sont recourbés pour former les parois des nanotubes et/ou des fullerènes (sphère creuse). Selon la façon dont ces plans auront été recourbés, on obtiendra des comportements métalliques, semi-conducteurs voire isolants. On a noté aussi depuis ces 5 dernières années des nanotubes métalliques autres que les nanotubes de carbone (nanotubes d'oxyde de zinc).

Il existe également dans la nature une notion de nanostructure :

- nanostructure d'incisive ;
- nanostructure d'aile de papillon ;
- nanostructure de feuille de nénuphar avec une non mouillabilité de l'eau à la surface de la feuille qui lui permet de rester sur la surface de l'eau et de ne pas couler ;



- le gecko qui a la particularité d'avoir des pattes constituées de poils redivisés en mille spatules dont la dimension de la pointe est à l'échelle nanométrique ce qui lui permet de tenir au plafond, que la surface en soit sèche ou mouillée.

Six mois ont été nécessaires, après la découverte des propriétés des pattes de gecko, pour arriver à reconstruire la même structure avec des nanotubes de carbone sur un substrat. Cela a permis d'avoir à Noël 2000 des petits jouets se fixant au plafond sans colle adhésive et en 2006, un modèle plus développé tel qu'une plaque d'1 m² de cette structure de nanotubes permettant de fixer au plafond, sans colle et de façon réversible, un objet pesant 1,5 tonne.

Dans le bois, une structure identique a été développée avec du nano papier ayant les caractéristiques mécaniques identiques à celle de la fonte (mais plus léger) présentant une biodégradabilité.

Concrètement, lorsque l'on passe à l'échelle nanométrique, on a des modifications de propriétés très importantes. Toutefois, il convient de retenir le changement d'échelle.

Pour 1 gramme d'oxyde de titane, si les particules faisaient 1 mm, on aurait besoin de 54 particules pour faire 1 gramme de titane. Quand on descend à l'échelle de 10 nm, on a 10 millions de milliards pour la même masse. C'est à dire 2 grammes de 100 nm de particules d'oxyde de titane répartis sur l'ensemble de la terre représentent 300 000 particules par individu. Cela donne une idée de la nécessité de maîtrise de contrôle de la prolifération de ce type d'objet pour certaines applications spécifiques.

Une autre particularité, en plus du nombre, est celle de la notion de surface spécifique.

Des particules de quelques mm vont donner quelques cm² pour 1 gramme de matière. En descendant à l'échelle de quelques nm, on aura une surface exposée allant d'une centaine de m² pour certains types de particules à plusieurs milliers de m²/gr quand il s'agira des nanotubes de carbone.

La surface d'interaction et d'environnement sera donc très importante de même que la capacité d'absorber ou de voir se fixer des espèces chimiques sur ces particules. Dans certains cas, il peut y avoir 50% de la masse d'un matériau considéré qui n'est représenté que par la contamination de surface du matériau.

Cette propriété est très importante s'agissant des tests de toxicité de matériaux afin de savoir si l'on travaillera sur la toxicité du produit lui-même ou sur celle de la couche de contamination. Cela permet d'expliquer un certain nombre de différences en termes de résultats sur le nombre des tests de toxicité.

Il est possible de contrôler l'échelle nanométrique à 1 nm près par des techniques de chimie douce, de l'arranger en surface pour en faire des structures hexagonales cubiques ou à 3 dimensions (métamatériaux).

L'autre particularité est que, pour une même dimension, les morphologies peuvent être très différentes. Lorsque l'on travaille sur ce type de dimension, on va travailler sur la germination-croissance des cristallites. En fonction des paramètres cinétiques (par exemple, la température ou encore le Ph du milieu), un germe constitué de la même matière chimique aura une morphologie différente, donc une réactivité différente.

En fonction de ces paramètres, pour l'oxyde de zinc, on aura non seulement une variation de la morphologie des premiers cristallites, donc des cristallites nano, mais aussi, pour la croissance ultérieure, des morphologies complètement différentes et donc des réactivités, des comportements de dispersion dans l'air ou dans l'eau complètement différents.

A l'échelle encore plus fine (rugosité de surface), toujours pour l'oxyde de zinc, la morphologie globale peut aussi être à l'échelle de la surface elle-même. Tout en ayant l'impression que la surface est lisse, existe, dans certains cas, la possibilité d'avoir encore une augmentation de la surface spécifique exposée à l'environnement.

Une autre spécificité de la morphologie de ces nanoparticules conduit à constater qu'elles sont relativement sensibles à l'environnement et qu'elles peuvent évoluer en fonction de la durée de vie de la particule.

Sur une particule d'or sous forme de pyramide, en fonction de l'épaisseur du revêtement isolant de type oxyde sur lequel sera déposé cette particule, le transfert de charge électronique va conduire à un aplatissement de la particule. Par conséquent, une réactivité de propriétés photo-catalytiques intéressantes peut exister dans un cas et pas dans l'autre. Il faut en conclure que la notion de morphologie ou de dimension pour une nanoparticule, doit être prise en compte pour tout le long du cycle de vie et qu'elle va dépendre de son environnement.

Une autre particularité des nano-objets est qu'ils ont fortement tendance à se regrouper s'il n'y a pas un traitement de surface préalable.

On parle alors d'agglomérats ou d'agrégats. Sur la photo, les entités primaires font 4nm et se présentent sous forme d'agrégats qui font 5 μ m. La réactivité par rapport à l'environnement (donc en termes de toxicité) ne va pas changer foncièrement que ce soit des particules isolées ou des particules microniques. Cela peut toutefois présenter un intérêt de travailler sur des particules microniques de ce type, en termes de manipulation, de gestion des moyens de stockage ou encore de filtration.

Dans le cas des études menées par les physiciens, la dimension physique en dessous de 5 nm peut conduire à une modification de propriétés thermodynamiques. Par exemple, pour une pression constante, plus la taille de la particule est petite plus le point de fusion va baisser fortement, cette baisse du point de fusion pouvant être de 500 à 600 degrés.

En mécanique, la notion de superplasticité est importante. En effet, un matériau est fragile (ou présentant un allongement à rupture relativement limité) à l'état micronique ou produit de façon classique. Lorsque sa production à l'échelle nanométrique est possible, il pourra être mis en forme de façon superplastique. Ainsi du cuivre électrodéposé passé plusieurs fois dans des rouleaux de laminoir va être écrasé jusqu'à obtenir un taux de déformation de 5000%. Cette pièce laminée ne comporte aucun point de fragilité grâce à une déformation uniforme. Cette propriété peut servir à des blindages et autres applications. Elle ne s'applique pas seulement aux métaux mais aussi aux matériaux censés être difficiles à être mis en forme (exemple la zircone : cet oxyde nanostructuré avait été développé par l'armée américaine



pendant la première guerre du Golfe pour protéger les pales d'hélicoptères de l'abrasion du sable)

L'une des plus récentes découvertes de la propriété est celle de l'aspect photocatalytique de l'or quand il est à une dimension nanométrique. L'or est réputé inerte et n'avoir aucune réaction sous rayonnement à l'échelle micronique. Lorsque la taille des nanoparticules d'or atteint 3,5nm, un effet photocatalytique est observé.

Il y a différentes façon de produire ces matériaux :

- une voie qui s'appuie sur la voie descendante : la réduction de la dimension des objets pour obtenir une propriété différente ;
- une approche montante, en travaillant sur les atomes eux-mêmes ;
- une voie intermédiaire qui est la métasynthèse qui permet de travailler sur des particules nanométriques que l'on va essayer de fonctionnaliser. Par connections chimiques entre les fonctions réactives déposées sur la surface de ces nanoparticules, on obtient un autre arrangement de ces particules à 3 dimensions.

Le budget et le financement

Pour montrer la volonté des Etats et les enjeux économiques, au niveau mondial le montant global à l'échelle mondiale de tous les budgets depuis 1997 représente la somme de 18 milliards de dollars, soit à peu près le budget du programme Apollo.

S'agissant du mode de financement, il est à 50% de financement public, pour 50% de financement privé. En Europe, c'est 2/3 de financement public, pour 1/3 de financement privé (cf. site Internet nanomicro.gouv.fr).

Les publications scientifiques

Il convient de noter l'évolution importante des dépôts de brevets. En ce domaine, la Commission européenne a établi un classement en 2006, classement dans lequel la France se situe dans le peloton de tête puisque se situant au 9^{ème} rang mondial dans l'impact des publications scientifiques.

On note toutefois un net allongement de la durée d'examen des brevets qui de 25 mois (pour la moyenne de l'examen des brevets hors nanotechnologie) passe au double (soit près de 50 mois pour le secteur des nanotechnologies) du fait du manque de personnes compétentes pour les évaluer. Le retard dans la publication des brevets conduit les entreprises à ne plus déposer de brevets ce qui pose un problème de reconnaissance ainsi que d'activité mais aussi de transferts d'informations et / ou de technologies.

Le marché mondial des nanotechnologies

Il est évalué, pour 2015, selon 2 scénarii possibles :

- scénario pessimiste : 1 500 milliards de dollars
- l'autre optimiste à 3 000 milliards qui génèreraient 10 millions d'emplois au niveau mondial, soit 10% des emplois manufacturés au niveau mondial.

S'agissant des sociétés, il convient de noter que :



- la moitié d'entre elles (52%) sont créées ou travaillent aux USA et la moitié de celles-ci sont des start-up ;
- plusieurs milliers de la moitié restante sont situés en Chine.

Au niveau européen :

- en 2005, la France comptait 30 sociétés travaillant dans le domaine des nanos et l'Allemagne 120 ;
- en 2006, l'Allemagne en comptait 550 et la France 170 ;
- en 2008, d'après les rapports de l'AFSSET, ce chiffre est stable pour la France, alors que l'Allemagne en est à 1000 entreprises. D'où la volonté de la DGE de lancer un plan d'activation cohérent pour l'introduction et/ou le développement des nanotechnologies en France.

Les bases internationales

Actuellement, les deux bases internationales régulièrement mises à jour sont d'une part, une base américaine « nanotechproject.org » qui recensait le 21 août 2008 plus de 800 nanoproduits et d'autre part, une base japonaise.

Actuellement, plus de 2000 types de nanoparticules composant des nano objets peuvent être achetées contre 1500 il y a 6 mois (sur le site nanowerk.com).

Les marchés recensés

Ce recensement est fait sur la base de déclarations volontaires des distributeurs ou importateurs dans l'ensemble des secteurs : fitness, maisons jardins, santé, électroménager, ordinateurs, alimentation et emballages, automobile, secteur électrique et jouets, cosmétiques, vêtements, articles sportifs, crèmes solaires et les dispositifs de filtration...

Il existe 6 grandes familles de particules en termes d'espèces chimiques utilisées comme nanocomposants :

- les composants à base de nanoargent ;
- les nanotubes de carbone et les fullerènes, dont le marché explose ;
- les oxydes de zinc ;
- l'oxyde de silicium ;
- l'oxyde de titane ;
- les nanoparticules d'or.

L'oxyde de zinc, l'argent et l'or ainsi que le TiO₂ ont des propriétés bactéricides ou viricides très importantes pour certaines applications.

Exemples :

- les traitements de nanoargent réputé bactéricide pour les claviers d'ordinateurs, les vitrages anti UV et autonettoyant à base de TiO₂...
- dans le domaine des applications domestiques, on trouve les aspirateurs sans sac, les réfrigérateurs avec revêtements à base d'argent, ainsi que des additifs dans les



polymères à base de TiO₂ pour applications antisolaires pour limiter la dégradation par les rayonnements UV des câbles.

- dans le domaine des cosmétiques : les pâtes dentifrice contenant des nanoparticules de silice, de phosphate de calcium qui peuvent servir à blanchir les dents, les crèmes solaires et les fards pour cils qui contiennent des nanotubes de carbone, déjà commercialisés.
- dans le domaine des sports et loisirs : les nano tubes de carbone sont introduits dans les cannes de golf et les skis, les raquettes de tennis, les cadres et jantes de vélos ; les chaussures de course, etc.

Dans le domaine de la santé, la France a jugé comme étant prioritaire : l'affinement des diagnostics, l'efficacité des médicaments, la médecine régénérative.

Dans le domaine des textiles, l'introduction des nanoparticules telles que ZrO₂, TiO₂ ou encore Ag porte sur l'aspect thermique, l'aspect anti-usure, anti-bactérien, anti-odeurs, anti-UV.

Dans le domaine de l'automobile, Renault a utilisé, depuis 1990, 10 tonnes de nanotubes de carbone produits par une entreprise américaine, Hypérion, pour faire ses renforts d'ailes de « Scenics » et d'Espaces qui étaient en polymères. A la même époque, la production mondiale revendiquée par les différents producteurs était de 300 Kg.

Dans le bâtiment, St Gobain et ses vitrages TiO₂, le développement du béton TiO₂ (église du jubilé à Rome, Cité de la Musique à Chambéry) pour la dégradation photocatalytique des pollutions organiques et de gaz d'échappement par Ciments Calcia / ItalCementi. Il faut souligner que le Japon emploie depuis plus de 20 ans ces bétons de revêtement TiO₂.

Dans les emballages alimentaires, un certain nombre de sociétés sont actives dans le domaine, mais il est difficile de connaître le produit commercialisé. En revanche, il est possible de connaître le producteur de ces objets. Une étude d'un cabinet de consultant (Helmut Kaiser Consulting), publiée en 2007, montre que plus de 400 sociétés dans le monde produisent des aliments ou des emballages contenant des nanoparticules, ce qui représentera un marché de 20,4 milliards en 2010.

Dans l'alimentation, les poudres instantanées contiennent de la silice, additif anti agglomérant, ajouté aux sauces tomates, au sel marin etc.

Il convient de souligner quelques lacunes dans les bases internationales. Par exemple, les nano - argiles ne sont pas encore prises en compte dans la base Woodrow, dans les emballages plastiques de bouteilles y compris les bouteilles d'eau gazeuse.

Les nanotechnologies sont une technologie très duale. On peut avoir d'ores et déjà des applications dans le domaine de la défense sur tous les secteurs. Ainsi des exosquelettes complets sont déjà opérationnels et en phase de commercialisation par une société israélienne pour le prix de 15 000 euros. Parmi les paramètres spécifiques des nanoparticules, il faut souligner que l'une des particularités de ces particules est d'être hautement inflammable. Les USA ou la Russie se sont servis de ce type de spécificité pour développer les plus grosses bombes classiques mais nettement supérieures en terme de puissance à certaines bombes nucléaires.



En résumé, il existe plus de 800 produits et de multiples nanoparticules qui permettent de réaliser ces objets donc de multiples perspectives pour développer des systèmes intermédiaires, les études de marché sur le développement des nanomatériaux prouvant que la partie nanomatériaux en tant que telle, ne représente qu'une très faible part de l'impact économique.

A l'échelle mondiale, pour le noir de carbone à particules très fines, on produit quelques 10 millions de tonnes, pour d'autres secteurs quelques centaines de milliers de tonnes entre la France, l'Angleterre, les USA et le Japon.

Dans le cadre du rapport de l'AFSSET, paru en juillet 2008, on a identifié 10 000 tonnes de TiO₂ et 500 000 de SiO₂. Pour les nanotubes de carbone, on en est encore à l'échelle pilote mais néanmoins la capacité est de 10 tonnes par an, 240 000 tonnes pour les noirs de carbone et 1 000 tonnes pour les Alumines ultra pures ainsi que près de 500 000 tonnes pour les alumines dits de spécialités. Quant aux carbonates de calcium produits à l'échelle nanométrique, il en est produit près de 300 000 tonnes par an.

Le Dr Lombard intervient sur les informations recueillies s'agissant des propriétés toxicologiques et environnementales des nanoparticules ou des nanotubes de carbone lorsqu'ils sont isolés ou sous forme d'agrégats relativement fins.



En ce qui concerne les nanoparticules, en dessous de 100 microns, nous avons à faire à la fois à des particules d'origine naturelle et biologique et à des particules d'origine anthropogénique, c'est-à-dire manufacturées ou créées par l'activité humaine. Nous nous situons dans des domaines connus : la fumée de tabac, le noir de carbone, les poussières ultrafines, les virus, les protéines, l'hélice d'ADN, etc.

Chaque nanoparticule manufacturée doit être étudiée individuellement car, comme l'a montré le Dr Gaffet, en fonction de ses caractéristiques physicochimiques, les propriétés peuvent être totalement différentes. En plus de sa taille, il faut tenir compte de la forme, de la surface et d'autres paramètres qui font qu'une nanoparticule ne se comportera pas de la même façon au niveau biologique.

Cet exposé présente tous les aspects actuellement publiés de la toxicité potentielle des nanomatériaux (nanoparticules et nanotubes). Certaines études ont été effectuées dans des conditions mal adaptées aux particularités des nanomatériaux, mais aussi avec des nanomatériaux dont les propriétés physicochimiques ont été mal caractérisées.

C'est une compilation des effets observés ou attendus des nanomatériaux, néanmoins il est important de connaître l'ensemble des questions que l'on se pose suite à la publication des résultats de ces études, dont beaucoup sont à confirmer dans des conditions expérimentales mieux encadrées.

Les nanoparticules passent-elles dans l'appareil respiratoire ?

Généralement en hygiène industrielle dans le contrôle des expositions professionnelles, on considère, par convention, qu'aucune des particules ayant une taille inférieure à 100 microns, se trouvant dans l'air ne pénètre dans l'appareil respiratoire. En dessous de 100 microns les particules pénètrent dans l'appareil respiratoire supérieur (nez, bouche) Pour la partie trachéobronchite, les particules micrométriques en dessous de 30 microns descendent jusque dans les bronches. En dessous de 5 microns, elles se retrouvent dans les alvéoles pulmonaires où elles peuvent exercer un certain nombre d'effets biologiques.



Pour les nanoparticules leur comportement dans l'air ainsi que leur pénétration dans l'appareil respiratoire ne suit pas la même logique.

Paradoxalement, les nanoparticules les plus fines ne sont pas forcément celles qui pénètrent le plus profondément dans l'appareil alvéolaire. Ainsi une courbe de pénétration des nanoparticules dans l'appareil respiratoire montre que les nanoparticules de taille 300 nm, ont une pénétration beaucoup plus importante que pour les nanoparticules de taille inférieure.

Le Dr Gaffet a montré que les nanoparticules pouvaient former des agrégats de taille allant jusqu'à plusieurs microns et de formes différentes qui modifient leur comportement dans l'air et dans l'appareil respiratoire. Certains de ces agrégats de taille micrométrique, peuvent également se retrouver dans la partie alvéolaire de l'appareil respiratoire.

Lorsqu'une nanoparticule est dans la partie alvéolaire, elle se trouve en contact avec les parois sur lesquelles elle se colle et avec les macrophages, cellules mobiles, dont le but est de protéger de toutes intrusions les alvéoles pulmonaires et de les débarrasser des particules potentiellement dangereuses.

Ces nanoparticules vont soit, être prises en charge par les macrophages pour être digérées si elles peuvent l'être, soit être remontées par ceux-ci dans les bronches où elles seront prises en charge par l'appareil mucociliaire jusque dans la bouche où elles seront recrachées, ou avalées pour subir un nouveau cycle digestif si l'on ne veut pas cracher.

En dessous de 100 nm, les nanoparticules au contact avec les cellules qui constituent la paroi alvéolaire, ont la possibilité de passer, sans être digérées, à travers les pores intercellulaires, et peuvent se retrouver ainsi dans le circuit lymphatique et le circuit sanguin, puis être distribuées un peu partout dans l'organisme.

Il y a donc plusieurs possibilités dans les alvéoles pulmonaires :

- une action localisée directement au niveau des alvéoles pulmonaires avec la création d'une réaction de protection sous forme de fibrose ou d'inflammation localisée ;
- un passage sous forme soluble dans la lymphe ou dans le sang suite à une solubilisation ou à une digestion macrophagique.
- un passage direct sous forme de nanoparticules dans le sang qui sont diffusées un peu partout dans l'organisme.

Les études menées depuis 1993 montrent qu'il peut exister un passage direct. La plus grosse nanoparticule capable de traverser la paroi de l'alvéole pulmonaire, du polystyrène enrobé de lécithine, peut atteindre 240 nm. C'est donc en fonction de sa taille et de l'état de sa surface que la nanoparticule traversera la paroi de l'alvéole pulmonaire. De nombreuses études montrent que des nanoparticules de diesel peuvent ainsi se retrouver dans les cellules pulmonaires.

Les nanoparticules traversent-elles la peau ?

La question s'est posée de savoir si les nanoparticules pouvaient traverser la peau. Cette question se pose en particulier pour les nanoparticules de TiO₂ ou de Zn utilisées dans les crèmes solaires.



La peau compte plusieurs couches de cellules : une multicouche de cellules mortes kératinisées, protégeant les couches de cellules vivantes. Il y a des poils et des glandes sudoripares qui traversent ces couches et mettent l'extérieur en contact avec l'intérieur de la peau.

La première protection constituée par la couche cornée, est une barrière efficace qui arrête la majeure partie des nanoparticules. Une étude montre qu'en enlevant, petit à petit, chaque couche de cellules cornées, après une application sur la peau de crème avec du TiO₂, la majorité du TiO₂ se retrouve dans les couches supérieures et un pourcentage très faible ; 0,005%, se retrouve au niveau de la couche de cellules vivantes de l'épiderme. En revanche, les nanoparticules peuvent migrer le long des poils, traverser la couche cornée et se retrouver directement en contact avec le bulbe du poil, des nerfs et des capillaires, d'où davantage de possibilités de se retrouver dans le flux sanguin. Ce phénomène n'est pas important, cependant certaines études ont montré que des nanoparticules électroluminescentes (Quantum Dot) pouvaient pénétrer et se retrouver directement dans l'épiderme et le derme.

Le passage au travers de la peau serait donc possible en fonction de différents critères. Les nanoparticules ne passeraient cependant pas d'une manière passive. Dans le cas d'une simple application sur la peau, elles resteraient dans les parties supérieures de la couche cornée. Cette possibilité de passage à travers la couche cornée est accrue s'il y a rupture de barrière par blessure ou abrasion (peeling) Si cette application est suivie par une action mécanique forte de massage ou de pliage par exemple, qui facilitent la pénétration à travers les couches cornées, on facilite le contact avec les cellules vivantes. Une étude récente montre aussi que l'action des UV favoriserait le passage à travers la barrière cutanée par une dilatation des pores et des vaisseaux sanguins sous l'effet de la chaleur.

Les chercheurs sont encore très partagés sur le sujet et aucune conclusion définitive ne peut être retenue à l'heure actuelle quant au passage ou non à travers la peau. On peut seulement penser que s'il existe, il serait très faible.

Les nanoparticules peuvent-elles passer dans le système nerveux ?

Une hypothèse avait été faite quant à la possibilité pour les nanoparticules, qui ont la taille des virus de pénétrer dans l'organisme en suivant les circuits nerveux, comme le font les virus.

De nombreuses études depuis 1941 ont montré que lorsque les nanoparticules sont en contact avec la partie supérieure de la cavité nasale, là où se trouve le bulbe olfactif, seule région où les cellules nerveuses sont en contact direct avec l'extérieur, elles pourraient passer le long de ces cheminements nerveux pour arriver directement dans le cerveau, en particulier le bulbe olfactif.

Comme il est difficile d'observer la présence de nanoparticules dans les cellules, l'un des moyens pour vérifier si le cerveau a été exposé à des nanoparticules est de vérifier si les cellules « mises en contact » mettent en place un mécanisme de défense qui se traduit par la production d'indicateurs de souffrance cellulaire comme, par exemple, le TNF (Tumor Necrotic Factor). On a pu ainsi constater que les nanoparticules faisaient réagir en particulier les cellules du lobe olfactif, mais aussi dans une moindre mesure, d'autres parties du cerveau de rats exposés par inhalation.



Une étude en 2006, avec des nanoparticules de TiO₂ de 5nm et 120 nm montre qu'il y aurait une réaction biologique immédiate (<5mn) et continue (120 mn) des microglies (sorte de macrophages du cerveau) par la sécrétion d'oxygène réactif (ROS) et interférence avec la production énergétique microsomiale, à des concentrations non toxiques de TiO₂ de taille nanométrique.

Preuves de la pénétration de ces nanoparticules.

Les nanoparticules peuvent-elles passer par le système digestif ?

En 2004, une étude a conclu à une forte absorption journalière de nanoparticules et de microparticules de 0,1 à 3 microns à travers le tube digestif (de 10¹² à 10¹⁴) et au niveau des intestins, d'où elles peuvent passer directement dans le sang et dans d'autres organes. Elles proviennent en particulier des adjuvants de fabrication des aliments et des dentifrices.

Des études contradictoires sur le transfert digestif du TiO₂ et de l'absence de transfert de nanoparticules métalliques d'iridium montrent qu'en fonction de sa taille et de son activation de surface, la nanoparticule va plus ou moins s'accrocher aux parois et plus ou moins pénétrer dans le sang à travers les intestins.

Finalement, les nanoparticules qui ont pu pénétrer dans le sang, par voie aérienne, cutanée ou digestive se diffusent partout dans l'organisme. L'instillation par voie trachéale chez le hamster de nanoparticules marquées au Technicium 99, démontre la diffusion de celles-ci dans le foie et le cœur après un passage dans les poumons. Chez l'homme une étude par inhalation démontre que des nanoparticules de noir de carbone marquées au Technicium 99 se répandent un peu partout dans le corps, et que la concentration dans la vessie atteint 25% de la dose inhalée en 45 minutes. La question reste de savoir si le Technicium 99 est resté fortement accroché au noir de carbone et si ce n'est pas uniquement du Technicium 99 qui a diffusé dans le corps.

Toutefois des études faites par voie intraveineuse et intra péritonéales font ressortir une pénétration de nanoparticules de faible diamètre dans les cellules du foie et du pancréas, et dans les reins, mais il semble qu'elles ne passent pas dans le placenta ni dans le cerveau.

En l'absence de standardisation dans les études de toxicologie et dans la caractérisation des nanoparticules utilisées, tous les résultats de ces études restent à confirmer.

En résumé du devenir des nanoparticules :

Elles pénètrent par le nez dans l'appareil respiratoire, à travers la peau d'une manière plus ou moins importante, par la bouche dans l'appareil digestif, pour se retrouver finalement dans le sang. Véhiculées par le sang, elles se retrouvent dans le foie et dans des organes divers, appelés « organes cibles » pouvant stocker les particules ou dont les cellules vont réagir). Et enfin, puisque le sang s'épure dans les reins, elles vont être excrétées dans les urines, mais aussi dans les fèces. Rien n'a été retrouvé pour l'instant dans la sueur, ni dans l'air expiré.



Les nanoparticules sont-elles dangereuses ?

En ce qui concerne les propriétés toxicologiques et écotoxicologiques les paramètres physicochimiques sont importants, chaque variation pouvant entraîner une modification de la réactivité des nanoparticules. L'influence de la taille, de la forme et des composants vont jouer un rôle dans la déposition respiratoire et le transfert cellulaire, puis dans la mise en place de réactions cellulaires d'inflammation, et/ou de cytotoxicité.

De nombreuses études avec des nanoparticules diverses en taille et en composition ont montré une augmentation significative du nombre de macrophages et de neutrophiles dans les poumons.

Normalement, l'organite au centre des réactions biologiques ; le macrophage, va piéger les particules dans les poumons et tenter de les digérer et de les éliminer. Il va libérer un certain nombre de médiateurs comme le TNF et des interleukines qui vont initier des réactions biologiques dans l'organisme. La production de radicaux libres peut ainsi augmenter et avoir un impact sur un certain nombre de cellules qui vont réagir au niveau tissulaire, en particulier par des réactions inflammatoires. Le macrophage peut aussi entraîner une stimulation directe des fibroblastes alvéolaires qui secrètent de la fibrine et créent un épaissement de la paroi des alvéoles pulmonaires. La paroi alvéolaire devenant plus épaisse, le transfert de l'oxygène et du CO₂ se fera moins facilement. Cela se traduit par une diminution de la fonction respiratoire, de ce fait par une insuffisance respiratoire.

Les nanoparticules peuvent-elles être immunotoxiques ?

Les nanoparticules peuvent s'agglomérer entre elles, mais aussi se fixer sur les protéines et sur un certain nombre de produits biologiques. Pour créer un allergène, il suffit parfois d'une molécule de faible poids moléculaire qui va prendre une taille suffisamment importante en se fixant sur des protéines et stimuler ainsi les réactions immunitaires. Des études ont montré que la réaction pulmonaire inflammatoire induite par les nanomatériaux peut influencer le développement de réactions allergiques pulmonaires sévères.

Il n'a pas cependant pu être mis en évidence de réaction d'allergie après une exposition cutanée.

Les nanoparticules peuvent-elles avoir un effet au niveau du système cardiovasculaire ?

Cette hypothèse commence à se vérifier.

Les nanoparticules ont 2 possibilités d'actions sur le système cardiovasculaire:

- soit elles entraînent un épaissement du sang, elles peuvent aussi se fixer directement sur les parois vasculaires, et réduire le diamètre des vaisseaux à l'endroit où elles s'accrochent, mais aussi créer une réaction inflammatoire localisée, comme une plaque d'athérome qui réduit l'écoulement du sang.
- soit elles créent des réactions cellulaires avec libération de médiateurs de l'inflammation qui diffusent dans le sang et induisent des réactions inflammatoires localisées dans les vaisseaux des organes touchés.



Plusieurs études montrent qu'elles influencent l'agrégation plaquettaire, elles créent des points de fixation sur lesquels il y aura un début de rétrécissement des vaisseaux sanguins, et des inflammations localisées, avec comme conséquences des risques d'athérosclérose et de thrombose. Dans ces conditions un risque d'infarctus n'est pas négligeable.

Les nanomatériaux peuvent-ils pénétrer dans le noyau cellulaire ?

Le noyau contient le patrimoine génétique de la cellule qui régit le fonctionnement cellulaire. Ainsi la possibilité pour une nanoparticule de pénétrer dans le noyau et de se fixer ou non sur l'ADN modifiant le patrimoine génétique des cellules, pourrait entraîner des actions de génotoxicité qui se traduisent : soit par la mort cellulaire, soit par le dysfonctionnement cellulaire, soit l'apparition de cellules anormales qui pourraient dégénérer en cellules cancéreuses.

Or, le noyau n'est pas complètement clos, il comporte des pores, ayant un diamètre moyen de 38 nm, qui permettent des échanges d'ions et de petites molécules entre la cellule et le noyau.

Il est donc possible de penser que tout ce qui se trouve dans le cytoplasme avec une taille inférieure à 39 nm a la possibilité de pénétrer à l'intérieur du noyau et d'entrer en contact avec l'ADN. Si cette possibilité est réelle (certaines études ont montré que des pénétrations se font à l'intérieur du noyau), une lecture anormale de l'ADN et une altération du fonctionnement cellulaire sont envisageables.

Des observations au microscope électronique faites en 2007 ont montré que des nanotubes de carbone pouvaient pénétrer dans le noyau car ils ont un diamètre extrêmement faible par rapport à leur longueur. Des études faites avec des nanoparticules d'or montrent qu'elles peuvent se placer dans les baies de l'hélice d'ADN.

Quels sont les dangers de génotoxicité ?

Selon leur comportement dans la cellule, les nanoparticules peuvent avoir un effet mutagène, pouvant entraîner des ruptures d'ADN.

Donc s'il y a altération de l'ADN, on peut craindre pour le fonctionnement de la cellule, des informations erronées vont être transmises aux corps cellulaires avec des risques de perturbation de la respiration cellulaire, une augmentation du stress oxydatif et une interférence avec la réplication et la réparation de l'ADN. Ces mutations pouvant entraîner des dysfonctionnements, soit un arrêt cellulaire ou la création de cellules cancéreuses. Par chance la cellule dispose de mécanismes de réparation qui peuvent minimiser, voire annuler les dégâts occasionnés.

Les études ont montré que les nanoparticules pénètrent dans les structures subcellulaires : dans les mitochondries, centrales énergétiques de la cellule, dont elles peuvent perturber le fonctionnement, ainsi que dans le noyau, elles peuvent donc toucher l'ADN.

On dispose d'informations assez précises concernant les nanoparticules générées par la combustion (fumées de diesel, noir de carbone, barbecue) qui pourraient se fixer sur l'ADN des cellules respiratoires (former des adduits) et en modifier l'activité cellulaire, voire créer des cancers.

Toxicité spécifique des nanotubes de carbone ;

Les nanotubes et les nanofibres ont un rapport diamètre/longueur se rapprochant de celui de l'amiante. Or l'amiante étant toxique et cancérigène, il convenait de savoir si les nanotubes et les nanofibres étaient dangereux. Il a été constaté que les nanotubes étant très flexibles avaient généralement une forte tendance à s'agglomérer en pelote, ce qui diminue la potentialité de pénétration à travers les cellules des alvéoles pulmonaires, mais pourrait en augmenter le temps de résidence.

Des études faites par instillation chez le rat avec des nanotubes de carbone mono-feuillet montrent soit la mise en place d'une inflammation et une formation de fibrose, soit la mise en place de fibrose par activation directe des fibroblastes. A ce stade, il n'y aurait pas passage important trans-alvéolaire.

Lors de la production des nanotubes, un pourcentage non négligeable de nanotubes peut être contaminé par des impuretés chimiques, des ions métalliques et aussi des endotoxines d'origine bactérienne. Une méthode est en cours de développement à l'ISO pour déterminer la pureté des nanotubes par rapport aux toxines d'origine bactérienne qui pourraient activer des effets toxiques parasites. En conséquence, l'état de surface est important et la purification des nanotubes de carbone va jouer un rôle dans leur réactivité vis-à-vis de l'organisme. Il a ainsi été constaté, dans une culture cellulaire, que la présence de nanotubes de carbone multi-feuillets entraîne la dissociation du tissu de la culture cellulaire et la mort des cellules.

Lors d'une instillation intra-trachéale de 0,5 mg de nanotubes de carbone mono-feuillets réalisée chez des souris, on constate que leurs poumons ressemblaient à ceux des mineurs. Il faut noter cependant que 0,5 mg de nanotubes correspondent à plusieurs millions de nanotubes et à une surface développée importante. Ces résultats ne sont pas aussi marqués chez le rat.

Les nanomatériaux sont-ils écotoxiques ?

Au niveau de l'écotoxicité, des études menées avec les fullerènes (balles creuses formées d'un maillage de 60 atomes de carbones) montrent chez les différentes espèces utilisées en écotoxicité (daphnies et poissons) une absence de mortalité, mais quelques effets comme des retards de mues ou de reproduction chez les daphnies.

Des effets toxiques respiratoires et des effets neurotoxiques qui pourraient être liés à une atteinte du cycle cellulaire ont été observés chez la truite avec des nanotubes de carbone.

Les nanoparticules de TiO₂ n'ont pas montré d'effets écotoxiques dans les conditions testées, contrairement aux particules de zinc, qui sont actives indépendamment de leur taille et de leur forme. On a cependant retrouvé des nanoparticules de TiO₂ dans le cerveau de poissons.

En résumé sur la toxicité

Les particules ultra fines et les nanoparticules seraient responsables de l'augmentation de la mortalité dans des populations proches des déserts qui ont d'énormes problèmes cardiovasculaires liés à une surexposition aux particules ultra fines.

Les nanomatériaux (nanoparticules et nanotubes) quelle que soit l'espèce exposée, peuvent provoquer des inflammations pulmonaires en créant de l'oxygène réactif (ROS). Ils peuvent traverser le foie, le pancréas et les reins, augmenter la viscosité et la coagulation sanguine et provoquer ainsi des thromboses et accroître le risque d'infarctus. Ils peuvent avoir des effets neurologiques puisqu'on en trouve dans le cerveau et entraîner des modifications cardio-électro-physiologiques.

Ils peuvent avoir un effet d'adjuvant de l'immuno-toxicité en jouant un rôle dans les allergies pulmonaires.

L'écotoxicité n'est pas démontrée mais il subsiste un certain nombre de doutes.

Les voies potentielles d'exposition.

Les particules d'origine naturelle semblent mieux tolérées par l'organisme humain, puisqu'on s'y est habitué depuis des millénaires. Mais les nanoparticules manufacturées, dans le but de mettre en évidence ou d'utiliser des propriétés physico-chimiques particulières, peuvent se retrouver dans l'organisme des populations exposées.

- S'agissant des travailleurs, lors de la production, des applications, du transport et du stockage, la maîtrise des expositions professionnelles est possible et plus facile à contrôler. Cependant si le cycle de vie complet des nanomatériaux n'est pas sous contrôle, ils peuvent se retrouver dans l'écosystème, c'est-à-dire dans l'air, dans l'eau, dans le sol, et dans l'alimentation par la chaîne alimentaire, etc. et exposer l'homme au final. Travailleurs et particuliers réunis.
- Il n'y a pas de soucis à se faire pour les applications médicales des nanomatériaux, car elles sont étudiées avant leur mise sur le marché, afin de pouvoir gérer plus facilement les expositions des patients à ces produits.
- En ce qui concerne les expositions directes des populations aux nanoparticules naturelles ou anthropogéniques, le rapport de l'AFSSET en 2006 a donné un certain nombre de pistes en fonction des lieux (exemple : 10 000/cm³ en plein air, 700 000/cm³ sur un terrain d'aéroport).
- En revanche dans les produits de grande consommation, il est possible d'être exposé de façon importante et continue à des nanomatériaux dits « libres », c'est-à-dire non enrobés dans une matrice qui sont plus facilement bio-disponibles (exemple : spray avec des nanoparticules d'argent, adjuvants d'alimentation ou oligoéléments).
- Pour les nanomatériaux inclus dans une matrice (plastique, crème, béton) il est précisé que les nanomatériaux ne sont pas bio-disponibles immédiatement. De plus, l'exposition potentielle sera plus ou moins forte, en fonction de la résistance des matériaux et des manipulations créées qui libèreront ou non les nanomatériaux. Le



problème principal sera donc à la fin du cycle de vie de ces produits selon la qualité de résistance à la dégradation de ces matrices.

En conclusion générale

Le problème réside dans l'absence de techniques fiables pour la caractérisation physicochimique des nanomatériaux. Il est aussi difficile de définir les effets biologiques et toxicologiques des nanomatériaux en l'absence d'études standardisées capables de définir de manière précise comment étudier ces produits.

Des informations et des techniques permettant de contrôler et de limiter les expositions professionnelles commencent à être disponibles. La question porte principalement sur les moyens techniques et surtout des procédures de travail qui seront mis en œuvre.

Par contre des questions restent entières :

- comment contrôler l'exposition des populations ?
- quels moyens de protection pour l'environnement ?
- s'agissant du traitement des déchets, faudra-t-il créer des filières spécialisées et envisager des décharges contrôlées comme pour l'amiante ?

De nouvelles données devraient être disponibles en fin 2008 par la divulgation des résultats du programme de recherche européen triennal Nanosafe 2.

La question primordiale actuellement est : doit-on continuer à utiliser et diffuser dans le grand public certains nanomatériaux et certaines applications dont on ne connaît ni toutes les propriétés, ni les dangers et dont on ne maîtrise pas les risques pour la santé humaine et l'environnement ?

La toxicité des nanoparticules

Un certain nombre d'informations sur la toxicité de ces particules est connu actuellement. Près de 500 articles sont publiés par an sur les aspects toxicité spécifiques des nanoparticules et une vue d'ensemble semble émerger.

Dans une synthèse parue en 2007 qui recense près de 428 études portant sur 1000 particules, il est constaté que près de 85% de ces études démontrent une toxicité spécifique des nanotechnologies par rapport aux micros testées dans les mêmes conditions pour les articles reportés. Donc, sur un protocole donné, validé et expertisé par les laboratoires concernés, il y a une toxicité spécifique.

Un rapport québécois et le rapport de l'AFSSET parviennent aux mêmes conclusions : il n'existe pas de barrière de protection à partir du moment où l'on a trouvé à fonctionnaliser fortuitement ou volontairement l'état de surface de la particule. Elles sont capables de se distribuer dans l'ensemble de l'organisme et contrairement aux particules microniques localisées dans certains organes, les nanoparticules se retrouveront dans l'ensemble des organes.

Chaque produit va avoir une toxicité qui lui est propre et pour des produits industriels, ayant comme caractéristique une stabilité et une reproductibilité, leur toxicité sera certaine dès lors qu'elle sera déterminée.

L'une des conclusions qui s'impose, en accord avec l'AFSSET, est de limiter dès à présent l'exposition des personnes et protéger la santé des personnes potentiellement exposées. D'où la nécessité de recenser l'ensemble des personnes travaillant actuellement dans les laboratoires et dans la production industrielle et exposées potentiellement à ces nano-objets.

Il convient de se poser la question de savoir si, dans ce cycle de vie de ces matériaux, des nano-objets vont émettre, soit en cours d'usage, soit en cours de production, soit encore en fin de cycle de vie des nanoparticules.

La première étude datant de 2005, a porté sur l'analyse de la dispersion dans l'environnement des nano-objets. On a retrouvé dans l'environnement des éléments de pots catalytiques sous forme nano : platine palladium, rhodium etc.

Une seconde étude s'est intéressée à la dispersion des nano-objets : existe-t-il un effet de seuil ou dose ou exposition sous forme de flux donné, à un instant donné ; y-a-t-il une corrélation entre un effet direct toxique sur la santé du taux de particules présentes ? Cette étude, reprise dans un document de synthèse publié en 2007, a constaté l'effet de la concentration de polluants dans le brouillard urbain de Londres sur le taux de mortalité journalière. Elle démontre clairement l'existence d'une relation directe entre la pollution en nanoparticules et le taux de mortalité.

Le NIOSH a, en 2005, répertorié pour un ensemble des nanoparticules et a noté un effet cancérigène induit sur les poumons avec des particules de diverses origines tonner, charbon, diesel, TiO₂, noir de carbone, talc. Plus la particule est petite, pour une même quantité, plus l'effet direct nocif de la présence de petites particules est perceptible.



Par ailleurs, une étude, portant sur la dégradation des pneumatiques et du revêtement pneumatique, a permis de constater qu'un véhicule émet 10 puissance 11 à 10 puissance 12 particules nanométriques par Km qui sont à la fois du noir de carbone, du caoutchouc, de la silice et une partie du revêtement.

Enfin, une étude sur la dégradation de vernis TiO₂ sur différents substrats a montré qu'on en retrouve dans les eaux de ruissellement jusqu'à 7 fois le seuil maximum toléré pour le rejet dans l'environnement pour le bâtiment.

Il serait également important d'étudier la dégradabilité de ces nano-objets pour déterminer un seuil d'exposition à ces particules.

La notion de financements publics spécifiques aux nanotechnologies en termes de développement et de recherche est également importante. Le financement hygiène et sécurité, impact environnemental, correspond à 1% du budget global consacré au développement des nanotechnologies, ce pourcentage est également le pourcentage d'articles consacrés à ces aspects par rapport à l'ensemble de la littérature portant sur les nanotechnologies. Si les USA sont passés de 1% à 3% en 2007, l'Europe met deux fois plus de soutien financier à ces études d'impact sur l'homme et sur l'environnement par rapport aux USA.

En termes de financement des travaux, il n'y a pratiquement rien, sur l'aspect interaction des nanoparticules avec l'organisme humain par la voie ingestion, alors que 80% des particules inhalées sont ingérées par le biais de l'ascenseur mucociliaire. On en utilise également dans l'alimentation sans en connaître les conséquences.

Les publications dans le domaine

Le nombre de publications augmente et un site web international a été mis en place à l'initiative de l'université de Rice. Il recense l'ensemble des publications. Des commentaires des auteurs viennent aussi parfois préciser et répondre à des questions de lecteurs dans une relative transparence.

En fonction des connaissances actuelles, un certain nombre de propositions et d'évolutions des normes ou des seuils maximums d'expositions sont faites.

Il est important de prendre en compte, s'agissant des publications sur les tests réalisés antérieurement sur la toxicité des particules microniques, que lors de nouveaux tests de sensibilité accrue avec de nouveaux appareils de détection pour tester les nanoparticules, on s'aperçoit que le TiO₂, qui était jusqu'à présent considéré comme totalement inerte, a été classé par le CIRC / IARC dans la catégorie 2B en février 2006.

Un point particulier sur les nanotubes de carbone : en mai 2008 de nombreuses publications ont commencé à montrer des effets similaires en termes d'inflammations dues aux nanotubes, comparables aux effets de l'amiante. Un certain nombre d'études portent à démontrer que les nanotubes de carbone, sur des tissus particuliers, pourraient avoir le même comportement précurseur de mésothéliome.

Dans le cadre des nanotubes de carbone isolés, le seuil proposé au niveau ISO par les anglais (British Standard Institute BSI) est inférieur de 10 fois à celui de l'amiante, soit 1 ng pour 100m³. Donc il n'y a qu'une solution technique, c'est le confinement et la double barrière pour empêcher l'exposition des opérateurs pour leur mise en œuvre et leur production.



Les précautions à prendre pour la mise sur le marché (étiquetage, les codes de bonne conduite et la réglementation)

L'article 34 du projet de loi Grenelle I porte sur la fabrication, l'importation et la mise sur le marché avec une déclaration obligatoire au préalable, l'élaboration des méthodologies d'évaluation de leurs risques et de leurs bénéfices et l'amélioration de l'information de salariés sur ces substances.

Au niveau européen, M. Robert MADELIN, Directeur Général de la SANCO, a interrogé les producteurs européens sur le sujet spécifique des aliments contenant des nano-objets et emballages contenant des nanoparticules. Il a insisté sur la nécessité d'informer les consommateurs sous peine de reproduire la suspicion puis la crise connue avec les OGM. Aucune réponse ne lui est parvenue à ce jour.

La notion d'étiquetage est importante dans un domaine aussi mouvant et aussi développé. L'on peut citer l'exemple d'un produit appelé « Magic Nano » clairement identifié sous le vocable nano. 100 personnes l'ayant utilisé, en Allemagne, ont été hospitalisées pour un œdème pulmonaire aigu. Or, ce produit ne contenait pas de nanoparticules.

L'étiquetage ne mentionne pas simplement ce qui compose le produit, il sert également à consolider un produit, un marché et éviter les fausses nouvelles et les fausses rumeurs qui déstabiliseraient le marché en termes de confiance. Autre exemple, avec cette société américaine qui vend un masque prétendument certifié par le NIOSH, alors que celui-ci indique n'avoir jamais certifié ce masque comme étant qualifié en terme d'efficacité pour filtrer les nanoparticules.

Un congrès de 2007 a mis en lumière les difficultés rencontrées par les industriels pour préciser sur l'étiquetage la présence de nanoparticules dans leurs produits.

La notion de réglementation ou de régulation

Deux villes aux USA, Berkeley et Cambridge, ont développé un code réglementaire pour leurs zones spécifiques administratives. Elles demandent aux industriels et aux laboratoires, de faire l'état de leurs productions, de leurs méthodes de travail ainsi que des moyens mis en œuvre pour protéger leurs opérateurs y compris dans les laboratoires.

Parallèlement aux déclarations d'étiquetage volontaire, contraint ou forcé, des codes de bonne conduite sont proposés.

Une proposition au niveau européen existe déjà sur la base d'un engagement volontaire en terme de code de bonne conduite pour les laboratoires de recherche. Ce texte qui est encore en discussion au niveau européen, a été publié le 7 février 2008. La stratégie européenne consiste à assurer un développement responsable et à maîtriser des nanotechnologies en recherche, mais rien n'est prévu pour le volet production.

En avril 2008, la communauté d'intérêt du commerce de détail suisse qui représente plus de 70% de la distribution en Suisse a édicté un code de bonne conduite et de distribution commerciale indiquant dans l'étiquetage :

- la preuve des effets ou modes d'action spécifique du nanoproduct ;
- la spécification technique (l'aspect dimension morphologie, stabilité) ;
- les études de risques potentiels pour l'homme et l'environnement ;



- la toxicologie et l'écotoxicologie ;
- la biodégradabilité et l'élimination.

Un code de bonnes pratiques pour les laboratoires et les industriels a été publié dans le rapport de l'AFSSET, publié en France en Juillet 2008. Il reprend un certain nombre de recommandations en termes de pratiques d'évaluation de risques et de moyens, de précautions stabilisées clairement identifiées dans le domaine des nanotechnologies.

Au niveau international, un certain nombre d'industriels ont pris l'initiative de développer leur propre code depuis mars 2008. Un autre réseau industriel (NanoRisks Framework) propose une méthodologie d'évaluation bénéfiques/risques et impacts sur l'environnement, jusqu'au cycle de vie complet de l'étude, y compris le coût pour l'introduction du TiO₂ sur des emballages (170 000 €).

La prise de conscience au niveau des sociétés

On pourrait imaginer que tout le monde se sent concerné et a pris conscience des questions importantes à se poser lorsqu'on introduit ce type de produit.

Une étude suisse montre qu'il n'y a pas lieu d'être aussi largement optimiste car, au niveau européen :

- 3/4 des sociétés indiquent qu'il n'y a pas de gestion de risques spécifiques sur ces produits et nouvelles technologies ;
- seulement les 2/3 indiquent être en train de mener des études sur l'absorption de ces nanoparticules dans l'environnement ;
- 1/3 examinent les effets potentiellement toxiques de ces nanoparticules, la moitié des entreprises disent ne jamais avoir réalisé de tests et 1/4 disent ne pas savoir si des tests ont été réalisés sur leurs produits.

Dans le domaine des assurances, un article récent montre que les assureurs n'ont pas assez d'éléments pour couvrir actuellement l'ensemble des secteurs industriels. Les sociétés de réassurances, dans un premier rapport publié il y a 10 ans, s'étaient inquiétées de savoir s'il fallait réglementer ou mettre en place une autorégulation entre industriels s'agissant de l'introduction des nanomatériaux sur le marché. Actuellement, une démarche de l'E.P.A aux USA consiste en une autorégulation via une auto déclaration par les industriels eux-mêmes. Depuis une année que cette démarche est lancée, seuls 7 industriels ont déclaré travailler et mettre en œuvre sur le marché des nanoparticules.

La perception des consommateurs

Un certain nombre d'études et d'opinions sont parues au niveau européen et aux Etats-Unis, sur la perception des nanotechnologies par les consommateurs. Elles révèlent qu'à peine 10% des consommateurs en ont entendu parlé, ce qui ne veut pas dire qu'ils ont compris leur usage. Aux USA, cette étude a été réalisée pendant 5 ans. Ce taux de consommateurs ayant une connaissance de ce secteur des nanotechnologies n'a connu aucune évolution en dépit des nombreuses campagnes d'informations tant télévisuelles que par internet.

Il faut en conclure que les campagnes de communication par voie de presse ou par conférences site-web ne sont pas pertinentes.



Par ailleurs, une autre étude révèle que le consommateur ne souhaite pas voir se multiplier, sans information préalable, l'emploi des nanotechnologies dans un certain nombre de secteurs notamment celui de l'alimentation. Dans le secteur de l'emballage, au contraire, le consommateur y voit un intérêt puisque c'est une protection et un antioxydant pour la conservation et la durée de vie des aliments.

Le texte du Grenelle I, comporte un chapitre spécifique sur l'élaboration des méthodologies d'évaluation de leurs risques et de leurs bénéfices.

Conclusion

Il y a donc peu d'information sur la dégradation des produits et leur impact sur l'environnement. La question demeure de savoir si, lors de la photo-catalyse, l'ensemble des produits de réactions chimiques induits par photo-catalyse sont inoffensifs pour l'environnement et l'homme ; si en dégradant ces produits, les eaux de ruissellement ne deviennent pas acides ; si ces manipulations n'augmentent pas le taux de CO₂ dans l'air. Dans les climatiseurs, une étude tend à démontrer que des molécules organiques, dues à des dégradations de polluants, seraient encore plus toxiques que les polluants de base. En termes de rejets dans l'environnement, en voulant mieux faire, ne fait-on pas pire ?

Un certain nombre d'applications également, par leur principe, vont rejeter des nanoparticules dans l'environnement, tels que les additifs pour carburants (nano-oxydes de cérium pour le gazole). Certes, il est important de diminuer la taille des particules de diesel, mais il peut y avoir d'autres éléments à prendre en compte. Une étude faite par un institut américain de santé sur l'environnement montre une augmentation de 50% du taux de benzène pour les carburants américains mais avec une diminution très notable des NO_x. Il convient donc de faire une analyse complète du cycle de vie du matériau et de ses effets secondaires liés au principe de fonctionnement de l'appareil.



5.6.4 *Avis rendu par le Conseil économique et social sur les nanotechnologies devant le CNC - Alain OBADIA, 25 septembre 2008*

M. le Président, Mesdames et Messieurs

Merci de m'avoir invité, merci pour la contribution que vous êtes en train d'apporter à l'indispensable débat public concernant les nanotechnologies.

En effet, ce **débat public doit prendre une dimension beaucoup plus large** qu'aujourd'hui afin de pouvoir tout à la fois :

- ne pas passer à coté du **potentiel de progrès des conditions de vie** que recèle cette nouvelle vague technologique ;
- ne pas passer à coté du **potentiel de développement d'emplois nouveaux** et de perspectives d'avenir pour les activités productives en France et en Europe ;
- tout en déterminant les **mesures de précautions ou dans certains cas de prévention** de risques ; mesures indispensables pour assurer la sécurité des consommateurs des salariés et de l'environnement.

En vous disant cela, je viens, en quelque sorte, de **résumer l'état d'esprit** qui a animé les travaux du CES sur le sujet.

Je vous en dirai bien sûr un peu plus dans quelques instants.

Je veux néanmoins souligner en préalable **ce qui, à mon sens, constitue la valeur ajoutée** de notre rapport et de l'avis qui en est résulté ; avis voté le 25 juin dernier.

Le CES n'est pas composé de spécialistes capables d'apporter des éléments scientifiques nouveaux sur la question.

Nous nous sommes donc **appuyés sur les travaux réalisés et publiés** par différents organismes ou institutions compétents. Nous avons également bénéficié de **l'apport d'experts de renom**, par exemple M. Laurent Gouzennes, Président du Réseau National Nanosciences Nanotechnologies (R3N) qui a accepté d'être l'expert du rapporteur.

Nous avons **auditionné** de nombreuses personnalités du monde scientifique, économique et associatif investies sur le sujet de Mme Bréchnignac Présidente du CNRS à MM. Weisbuch ou



Laurent qui sont des chercheurs capables de rendre intelligibles leurs travaux et leurs réflexions, en passant par M Jean Therme qui dirige Minatec à Grenoble, c'est-à-dire le pôle majeur de recherche et de développement technologique en matière de nanotechnologies.

C'est à partir de ces différents éléments que nous avons travaillé et **notre apport procède de la composition et du rôle du CES** (devenu CESE depuis la réforme constitutionnelle de juillet).

Le rapport et l'avis ont été le résultat de l'échange (voire de la confrontation sur certains sujets) des différents corps sociaux et économiques du pays : représentants des chefs d'entreprises (des grandes aux petites), de l'industrie comme du commerce ou des services, représentants des chambres de commerce et d'industrie syndicalistes, représentants des associations dont les associations de consommateurs (pas assez représentées comme les associations de défense de l'environnement d'ailleurs), représentants des agriculteurs, des institutions mutualistes, personnalités qualifiées, etc.

C'est dire que nos travaux se devaient de **traiter la question des nanotechnologies dans ses multiples dimensions** : développement industriel et scientifique, organisation de la recherche, financement de l'innovation, maîtrise sociale des risques et prévention, organisation du débat public. C'est dire aussi qu'ayant fait l'objet d'un **vote quasi unanime ils engagent sur une réflexion un panel intéressant d'organisations et d'institutions de la société civile.**

Je souhaite tout d'abord insister sur les **deux grandes révolutions** apportées par les nanosciences.

La première révolution, c'est une capacité nouvelle d'observer la matière à son échelle la plus fine c'est-à-dire **à l'échelle des atomes.**

Il s'agit non seulement de la voir, mais surtout de pouvoir en mesurer les propriétés mécaniques, optiques, électriques, magnétiques, etc.

Lorsque l'on se rapproche de la dimension atomique, **on a perdu la notion de l'objet global** et on ne voit plus que les structures de l'arrangement des atomes, révélant la profonde unité de la matière.

Ainsi et j'insiste beaucoup sur ce point, **les méthodes et les outils des nanosciences et nanotechnologies sont communs aux différents domaines utilisateurs : mécanique, biologie, électronique, matériaux, énergie, etc.**



La **deuxième révolution** est notre capacité technologique nouvelle à fabriquer des objets et à **maîtriser des processus de fabrication à cette échelle** ; notre capacité à arranger les atomes de telle manière qu'ils constituent de nouveaux objets. C'est ce que l'on appelle la « **voie montante** » (« bottom up » en bon français) face aux technologies de miniaturisation « **descendantes** » (« top down » dans la même langue) Cela ouvre des perspectives tout à fait inédites et immenses dans tous les domaines.

Ainsi, de par leur caractère transversal (que je viens de souligner), **les nanotechnologies occupent une place déterminante dans une vague technologique d'avenir dont notre pays comme l'Europe ne peuvent évidemment pas être absents.**

Cette vague conditionne, en effet, nos perspectives de développement économique et les emplois de demain.

C'est d'autant plus vrai que le développement des nanotechnologies est **porteur de progrès dans de multiples domaines** :

- nouveaux outils miniaturisés de diagnostic médical ;
- médicaments mieux ciblés sous la forme de nano-vecteurs permettant de combattre plus efficacement le cancer ou d'autres maladies, par exemple le sida ;
- technologies de l'information et de la communication plus performantes et ouvrant une progression fulgurante des capacités de calcul et de miniaturisation des processeurs, qui seront de plus en plus intégrées dans les objets de notre quotidien ;
- matériaux à la fois plus résistants et plus légers, plus solides et mieux formables ou déformables ;
- ouverture à des avancées substantielles dans le domaine des énergies nouvelles qui conditionneront notre futur (je pense par exemple aux recherches sur les piles à combustible et aux principaux problèmes à résoudre les concernant : stockage sécurisé de l'hydrogène, miniaturisation de leurs composants, réduction de poids, etc.)
- écotechnologies plus efficaces, etc.

J'arrête là une énumération qui pourrait être beaucoup plus longue.

C'est pourquoi notre avis avance une première série de propositions autour d'une conviction :

développer la présence de notre pays et de l'Europe dans les nanotechnologies est indispensable.

Nous avons des atouts pour cela : un potentiel de recherche de qualité ; environ 4000 personnes chercheurs, ingénieurs, techniciens, thésards, dans la recherche publique. Des fleurons de la recherche industrielle mondiale, par exemple sur le site de Grenoble avec Minatec (CEA), ST Microelectronics ; mais au-delà de Grenoble, quelques grands acteurs de l'Oréal à Michelin pour ne citer que ceux que nous avons auditionnés.



En même temps, l'une de nos plus grandes faiblesses est liée à la part beaucoup plus réduite de l'investissement R&D des entreprises en France et en Europe au regard des Etats-Unis ou du Japon. La comparaison internationale qui figure dans l'avis et encore plus dans les fiches informatives est éclairante de ce point de vue.

La recherche industrielle représente autour de 30% du total de la recherche nanotechnologique en Europe (la France se situant dans cette moyenne) contre près de 60% aux Etats-Unis et plus de 65% au Japon. Mais cette comparaison prend encore plus de sens lorsqu'on souligne qu'en Europe, l'Allemagne se distingue avec une part de R&D des entreprises de 70% et qu'elle dépose 2/3 des brevets européens !

De même, les taux de progression des dépenses totales de R&D sont significatifs. Alors que celui de la France est de 38% entre 2001 et 2005, celui des USA est de 133%. Des pays comme la Corée (qui part évidemment de beaucoup plus bas), réalisent des scores spectaculaires en doublant leur effort en 3 ans !

Il faut rappeler que les **enjeux sont immenses : le marché mondial des nanotechnologies, estimé à 500 milliards de \$ en 2008, devrait doubler d'ici 2015.** Depuis la rédaction de notre rapport cette échéance semble devoir être avancée à 2012.

Ces données étant posées, il nous faut constater que certaines **raisons structurelles expliquent notre handicap.** Je veux pointer notamment l'insuffisance des **modèles de financement** adaptés à l'innovation ainsi que le **faible nombre d'entreprises innovantes de taille moyenne**, en comparaison avec les situations allemandes ou américaines. L'examen de cet avis n'est pas le bon moment pour analyser les causes et l'ensemble des remèdes possibles face à cette situation. Nous en parlerons au mois de septembre, à l'occasion du travail dont est chargée Mme Villain.

On peut néanmoins mettre en exergue les points suivants :

- **réaliser une meilleure articulation entre la recherche publique et industrielle constitue un enjeu majeur ;**
- **le maintien d'un financement public élevé et soutenu de la R&D devant susciter un effet d'entraînement auprès des entreprises.**

La mise en œuvre d'un « **small business act** » à la française, voire à l'européenne en direction des PME innovantes, serait un élément favorable :

- **pour leur assurer un accès aux contrats publics à forte composante technologique ;**
- **pour accroître la contribution d'OSEO à leur financement ;**
- **pour mutualiser la garantie des prêts ;**
- **pour les accompagner, les premières années, dans l'acquisition de compétences en matière de gestion.**



Mais, si elles soulèvent beaucoup d'espoirs et sont porteuses de progrès, les nanotechnologies **suscitent également des interrogations et même des craintes.**

Quels peuvent être les **risques issus du développement, à l'échelle industrielle, de nanoparticules et comment s'en prémunir ?**

On peut se poser les mêmes questions concernant des dérives possibles dans l'utilisation des nano puces au regard des libertés individuelles voire des libertés fondamentales ?

Pour une part importante, ces questions ne sont pas uniquement présentes vis-à-vis des nanotechnologies et de leur développement.

Elles **existent dans de multiples domaines de la haute technologie** : que ce soient les biotechnologies avec les problèmes éthiques qu'elles posent, l'électronique avec les RFID par exemple, l'énergie en liaison avec le réchauffement climatique ou l'épuisement des ressources naturelles, la chimie en lien avec les pollutions et les risques.

Mais, comme je l'ai rappelé, les nanotechnologies sont **au cœur de la convergence de ces différentes technologies.**

En vérité ce qui est posé, c'est la question de la capacité de la société à **maîtriser de manière consciente le progrès technologique : sans vouloir en arrêter le cours, car ce serait à la fois illusoire et néfaste, sans vouloir se priver de la dynamique de progrès humain dont il est porteur, mais en créant les meilleures conditions de sécurité et de respect des règles éthiques dans son développement.**

C'est une autre manière de dire à quel point le principe de précaution n'est pas un principe d'abstention, mais un principe d'action raisonnée et responsable.

Cela nous conduit à une seconde grande idée : le développement des nanotechnologies doit s'effectuer dans des conditions de transparence et de sécurité maximales pour la population, les consommateurs, les salariés et l'environnement.

Notre avis comporte de nombreuses propositions à cet égard. Pour respecter le temps qui m'est imparti, je me limiterai à n'en citer que les plus significatives.

Concernant la prévention des **risques**

- Il est indispensable de renforcer les **recherches en toxicité, écotoxicité et métrologie**. Cela nécessite de se doter, grâce à un effort de formation d'ampleur, du potentiel humain nécessaire, aujourd'hui très insuffisant.

Les priorités devraient porter sur :

1/ les nanoparticules les **plus utilisées industriellement**, c'est-à-dire celles qui sont déjà présentes sur le marché ou qui vont l'être ;

2/ Les nanoparticules appliquées au **corps humain** (en médecine et cosmétologie par exemple) ;

3/ Les **différentes étapes du cycle de vie des nanomatériaux, ou nano-objets**. En effet les nanoparticules intégrées dans un matériau, peuvent, en cas d'usure, de dégradation ou de destruction de celui-ci, être dispersées dans le milieu naturel. La vigilance s'impose tout particulièrement s'agissant des nanotubes de carbone.

- En matière de réglementation, nous sommes dubitatifs en ce qui concerne la pertinence d'une approche globale. En effet, les applications des nanotechnologies concernent des domaines tellement différents que cela n'a pas grand sens. Il nous semble plus efficace de raisonner par familles de produits, pour prendre en compte le mieux possible les caractéristiques des risques à prévenir. Quand cela est possible, il est important de **s'appuyer sur les règles de protection déjà existantes dans les différentes activités productives, tout en les adaptant et en les complétant, afin qu'elles couvrent pleinement le champ nouveau des nanotechnologies**.

C'est par exemple le cas **du règlement REACH**.

A court terme, adapter le règlement REACH aux nanotechnologies implique d'une part, **d'introduire une propriété physico-chimique dépendante de la taille de l'objet** - pour le définir comme une substance nouvelle et évaluer sa toxicité - et **dans ce cas, adapter les valeurs de tonnage à la production des nanoparticules** afin que les précautions prévues puissent s'appliquer.

C'est cette démarche au plus près des réalités qui nous a animés concernant la question de l'étiquetage. Ce dernier se justifie pleinement dans certains cas (produits alimentaires, cosmétiques, vêtements, etc.), on peut être plus interrogatifs dans d'autres (matériels électroniques, matériaux nanostructurés, etc.)

- Par ailleurs, nous soutenons, comme cela a été fait à l'occasion du Grenelle de l'Environnement, la mise en place d'une **procédure de déclaration** par les producteurs et importateurs de substances à l'état nanoparticulaire sur le territoire français, car il est difficile, aujourd'hui, de savoir précisément qui fabrique ou vend des nano-objets ou des produits en incorporant.



La protection des salariés doit être une préoccupation majeure.

Pour ceux, de l'ouvrier au chercheur, qui travaillent en présence de produits nanoparticulaires, un **processus de veille sanitaire renforcée** devrait être mis en place. Dans les sites réunissant des salariés d'entreprises différentes, notamment en cas de sous-traitance, les **compétences et l'organisation des CHSCT devraient être élargies en s'inspirant des CHSCT de site, pour que tous les salariés bénéficient des mesures de précaution et de prévention nécessaires.**

Concernant le respect des libertés individuelles et fondamentales.

Les problèmes soulevés par les nanotechnologies concernent principalement leur convergence avec les TIC, les biotechnologies et les sciences cognitives. **La CNIL a toute légitimité pour intervenir dans ce cadre et faire respecter des règles,** à condition d'adapter ses moyens à la hauteur des missions, de plus en plus lourdes, qui lui sont confiées.

Les enjeux de normalisation sont tout à fait essentiels.

En effet, ils déterminent ce que devront être les règles à respecter. De ce fait ils conditionnent, pour une part importante, la mise en œuvre de mesures de précaution et de prévention. Ils conditionnent aussi notre capacité et celle de l'Europe à lutter contre toutes les pratiques de dumping, notamment sur les plans social et environnemental.

C'est pourquoi notre avis appelle tous les acteurs concernés dans notre pays : pouvoirs publics, entreprises, organisations syndicales et associations de consommateurs à se mobiliser pour participer pleinement au processus en cours. La France a encore des progrès à faire de ce point de vue.

Enfin, nous accordons une très grande importance au **développement du débat public dans toutes ses dimensions.**

Il est de la responsabilité des pouvoirs publics, notamment, d'en favoriser l'essor sous de multiples formes.

L'objectif est d'éclairer les citoyens, les élus et les différents acteurs de manière objective et en fonction de l'évolution des connaissances, sur les risques, les bénéfices potentiels et les mesures à prendre.

Dans le projet de loi sur le **Grenelle de l'Environnement, il est prévu d'organiser un débat public national avant le 31 mars 2009.** Nous soutenons bien sûr cette initiative.

Nous insistons dans le même temps pour que toutes les conditions soient créées pour que la réflexion et l'échange d'opinions soient le plus ouvert possible et **mobilisent le maximum de citoyens au-delà du cercle des experts et des militants.**

Dans ce but, leurs formes pourraient être diversifiées en s'inspirant des **conférences citoyennes.** Le rôle de la **Commission nationale du débat public devrait être renforcé et le futur Observatoire européen sur les nanotechnologies** pourrait jouer un rôle important pour favoriser ce type de débat au sein des Etats membres.

La présidence française de l'Union européenne pourrait pousser à ce qu'il en soit ainsi.



Le Parlement devrait apporter sa contribution ainsi que le Conseil économique et social, les régions et les CESR, en poursuivant les débats qu'ils ont déjà initiés sur ce sujet.

Les **médias audiovisuels** ont évidemment un rôle éminent à jouer avec la contribution des scientifiques.

Enfin, une meilleure coopération des **équipes de recherche en N&N avec celles en sciences humaines et sociales**, permettrait de mieux intégrer les préoccupations éthiques si déterminantes pour le développement des nanotechnologies.

Le débat public est une dimension essentielle de la question car les peurs naissent de la méconnaissance des phénomènes, mais aussi du sentiment que les préoccupations exprimées ne sont pas prises en compte. Le débat public permet de traiter ces deux aspects.

Voici donc, à très grands traits, le contenu de nos travaux. Je suis prêt maintenant à répondre à vos questions et à échanger avec vous.



5.6.5 *Intervention de M. Xavier GUCHET -, Université de Paris I, 21 octobre 2008*

**INTERVENTION DE M. Xavier GUCHET,
PHILOSOPHE ET MAITRE DE CONFERENCE
A L'UNIVERSITE DE PARIS I**

M. GUCHET aborde la question des nanotechnologies à partir d'une question plus vaste, celle de la convergence technologique, c'est-à-dire la convergence des nanotechnologies avec les biotechnologies, les technologies de l'information et les sciences cognitives.

Il cite un rapport rendu public en 2004, rapport d'un groupe de travail mandaté par la Commission européenne pour définir ce que pourrait être une vision proprement européenne de la convergence technologique, adaptant le programme NBIC (Nano-Bio-Info-Cogno) au contexte européen. Ce rapport fait expressément état du fait que les technologies convergentes doivent être considérées comme une sorte de laboratoire grandeur nature, une grande expérimentation collective en vue de construire, dans le prolongement de l'agenda de Lisbonne, une « société européenne de la connaissance ». Les enjeux de société soulevés par ces technologies ne sont par conséquent pas réductibles aux seules promesses d'applications futures ou aux risques encourus ; il y va aussi de la construction de l'unité européenne et de l'identité européenne.

Qu'est-ce qu'une société de la connaissance ?

Ce n'est pas une société qui produit des connaissances, puisque toute société produit des connaissances. Il ne s'agit pas non plus uniquement d'une société qui considère la connaissance comme un moteur essentiel du développement économique (le rapporteur du groupe de travail insiste d'ailleurs sur la prise de distance de la vision européenne de la convergence technologique par rapport à la vision américaine, jugée justement trop économiste). Il ne s'agit plus, comme le disent les Américains, d'améliorer la performance des individus et celle des groupes, il s'agit plutôt d'insister sur des dimensions plus humaines, solidarité sociale, développement durable. Dans ce contexte, une « société de la connaissance » est une société dans laquelle les citoyens en tant que tels – et non les individus en tant que consommateurs ou travailleurs – doivent entretenir un rapport essentiel à la connaissance.

Comme l'a montré le philosophe Michel Foucault, il faut remonter au XVIII^e siècle pour voir se mettre en place une nouvelle manière de gouverner les hommes, impliquant l'adossement de la pratique politique au savoir. Dès cette époque, le gouvernant ne peut plus gouverner, ni prendre de décisions sans mobiliser tout un corpus de connaissances (connaissances des processus économiques, des processus sociaux, des processus démographiques, etc.). Or, ce qui est intéressant dans cette idée de « société de la connaissance », c'est que cet adossement de l'action politique au savoir ne concerne plus seulement les gouvernants, mais doit concerner l'ensemble des citoyens. La citoyenneté elle-même se trouve définie par une activité de production de connaissance.



A partir de là, il est nécessaire :

- de faire la distinction entre société de la connaissance et société de l'information.

Ce concept de « société de la connaissance » n'est pas dans le prolongement de ce que l'on appelait jusqu'alors « société de l'information ». Il ne suffit plus de dire que les citoyens aujourd'hui doivent être des citoyens bien informés. Il s'agit d'un autre rapport à la connaissance, les citoyens doivent devenir producteurs de connaissance. Tel est le mot d'ordre : rendre les citoyens producteurs de connaissance. On parle, maintenant, de co-production des connaissances, très en amont de la recherche et du développement.

- Un concept (qui, il est vrai, n'est pas à proprement parler nouveau) est souvent avancé, celui d'expertise citoyenne.

Une société de la connaissance passerait par une expertise citoyenne. Cela veut-il dire qu'une « société de la connaissance » implique que tout le monde devienne expert ? Que la notion d'expertise se dilue jusqu'à se confondre avec l'exercice même de la citoyenneté ? Ne s'agit-il pas plutôt de se déprendre justement du modèle de l'expertise en dissociant connaissance et expertise, ce qui nous amène à poser la question : « quelles connaissances produisent ceux qui n'ont pas d'expertise ? ».

- Il faut faire une distinction capitale entre connaître et juger.

Etre producteur de connaissance, cela n'est pas encore être en situation de pouvoir produire un jugement de valeur, c'est-à-dire rapporter les connaissances à des valeurs. La question du jugement est notre affaire, à nous philosophes, c'est notre contribution essentielle à ce débat. Il s'agit dès lors de poser une autre question : non pas « quelles sont les conditions requises pour que puisse émerger une société de la connaissance ? », mais : « à quelles conditions le citoyen, aujourd'hui, peut-il être mis en situation d'exercer sa faculté de juger ? ». Ce sont deux questions très différentes.

Dans le groupe de travail supporté par l'ANR, auquel participaient notamment Jean-Pierre DUPUY, nous avons considéré que l'une des conditions essentielles du jugement sur les technologies convergentes est la possibilité d'établir une claire distinction entre nature et artifice. Cette distinction est extrêmement importante car elle a une portée culturelle, elle est source de normativité à la fois juridique (brevetabilité du vivant) et éthique. Il n'y a pas de jugement possible sur ces technologies si l'on n'a plus la possibilité à distinguer entre nature et artifice. Or, c'est devenu un lieu commun d'affirmer que les technologies convergentes « brouillent », au point de l'effacer complètement, la distinction entre nature et artifice. Il est vrai que les critères classiques que nous avons à disposition pour nous représenter cette distinction (par exemple, le critère qui oppose ce qui est fait de main d'homme et ce qui est spontanément produit) sont devenus inopérants. Faut-il pour autant conclure qu'elle a perdu toute pertinence ?

Deux exemples, pris dans deux registres différents, illustrent très bien notre embarras : celui d'un discours de l'ordre de la promesse et celui d'une expérimentation de laboratoire. Quand on aborde ces questions d'un point de vue philosophique, on ne peut pas distinguer le réel et la fiction. C'est une distinction qui devient extrêmement flottante et brouillée. Il faut traiter les discours d'accompagnement des technologies convergentes d'une manière sérieuse et ne pas les rejeter dans le domaine des fictions.

- Premier exemple donc : le propos de Rodney Brooks, Directeur du laboratoire d'Intelligence Artificielle du MIT : « notre but dans les 30 ans à venir est d'avoir un contrôle tel sur la génétique du système vivant, qu'au lieu de planter un arbre et d'attendre qu'il grandisse pour l'abattre et d'en faire une table, on sera capable de faire pousser la table ».

On peut remarquer que c'est exactement l'exemple que prend Aristote, dans le contexte d'une discussion avec les matérialistes (voir *Physique*, livre II), pour clarifier la question de savoir ce qu'est véritablement la nature d'une chose : est-ce sa forme ou sa matière ? La matière, disent les matérialistes. La preuve : si l'on plante un lit en terre et qu'il bourgeonne, c'est du bois que l'on obtiendra, et non un lit. La forme du lit est perdue, la matière demeure, elle est la nature véritable des choses. Aristote argumente au contraire que la nature véritable d'une chose, c'est sa forme. Son analyse repose sur la distinction préalable entre les êtres naturels, qui ont en eux-mêmes le principe de leur mouvement, et les êtres artificiels, qui sont par d'autres causes. Distinction qui nous paraît aller de soi (c'est un artisan qui fabrique le lit, et non la matière elle-même). Or, cette distinction, qui était le présupposé commun d'Aristote et des matérialistes, est en passe (si l'on en croit R. Brooks) de s'effacer : bientôt, nous pourrions faire pousser lits et tables. Aristote avait distingué deux sortes d'activités techniques : l'activité de fabrication d'un objet (le lit, la table) et l'activité de pilotage de processus naturels, comme dans la navigation, l'agriculture ou l'élevage (où il ne s'agit pas à proprement parler de fabriquer un objet). *Quid* de cette distinction si l'on parvient à faire pousser une table ?

- Le second exemple est une expérience qui porte sur le montage en laboratoire d'un analogon du moteur du flagelle de la bactérie *E. Coli*. Les chercheurs ont mis au point un protocole extrêmement ingénieux qui consiste à préparer une surface d'accueil artificielle à partir de silicium, de façon qu'elle soit la plus semblable possible à la membrane de la bactérie. Il s'agit ensuite de déposer sur cette surface les protéines d'intérêt qui conditionnent la rotation du moteur, avec l'espoir de voir le moteur s'auto-assembler exactement comme elles le font dans l'organisme vivant. Sur le plan d'une recherche sérieuse qui mobilise des chercheurs, on retrouve un peu le propos d'anticipation de Rodney Brooks, c'est-à-dire que nous ne sommes plus capables de distinguer entre ce qui est la matière et ce qui est la forme qu'on impose à la matière. On a affaire à une matière qui va faire émerger d'elle-même la forme technique. Ce qui relevait jusqu'à présent du domaine des fabrications humaines (les moteurs, les machines), désormais on le « fait faire » à la matière elle-même. Là encore, la distinction entre fabrication et pilotage de processus naturels s'efface.



On voit bien à travers ces deux exemples que la distinction entre nature et artifice est devenue très problématique (on peut toutefois se demander s'il en a jamais été autrement : n'est-ce pas une illusion rétrospective qui nous fait croire que la distinction nature-artifice a toujours été clairement établie, et ne se trouve perturbée que dans le contexte que nous font les nouvelles technologies ? Historiquement, cette distinction a toujours été « brouillée ».

D'autres exemples pourraient être donnés, comme celui d'un lapin modifié génétiquement pour le rendre phosphorescent. Est-il naturel ou artificiel ? C'est un lapin qui relève d'une productivité de la nature, en même temps il y a une intervention technique indéniable.

Deux types de discours sont possibles par rapport à ce genre d'expérimentation :

- D'une part, il est possible de conclure que nous sommes en passe d'achever le processus d'*artificialisation de la nature* qui définit la modernité : nous entrons dans l'ère du tout-artificiel, il n'y a plus de nature. Ne peut-on pas faire remarquer toutefois que depuis ses origines, il y a deux millions d'années, l'homme transforme la nature par son activité artificialisante ? Le processus d'artificialisation de la nature est coextensif au processus de l'hominisation dans son ensemble ;
- D'autre part, il est possible de tenir un autre discours, symétrique et inverse du précédent : il n'y a pas d'artificialisation de la nature, bien au contraire, nous sommes en passe de *naturaliser nos artifices*. Ceux-ci en effet, comme l'ont montré plusieurs philosophes, finissent par devenir indiscernables des êtres naturels. C'est le cas par exemple de molécules que l'ont fait fonctionner comme des machines, ou encore du comportement d'un OGM qui, une fois lâché dans la nature, devient indiscernable d'un processus naturel. En outre, puisque la nature fait des nanotechnologies et des biotechnologies depuis trois milliards d'années, les « nanoistes » ne sont-ils pas fondés à dire qu'après tout, il n'y a rien de bien inquiétant dans tout cela ? Rien que de très naturel ?

Dans les deux cas, que l'on dise « on entre dans un règne d'artificialisation de la nature », ou « on entre dans un règne de naturalisation de l'artifice », l'on finit par se priver de toute capacité de juger les technologies convergentes : en effet, il n'y a aucun sens à juger la nature, aucun sens non plus à juger le processus d'hominisation comme tel. Maintenir la distinction nature-artifice apparaît comme une condition nécessaire du jugement.

Il faut réinjecter du sens dans cette distinction nature/artifice.

Il faut reproblématiser cette distinction, trouver une manière nouvelle de la penser. C'est ce que nous avons essayé de faire dans le cadre de ce programme ANR sur les enjeux éthiques et philosophiques des bio et nanotechnologies.

Revenons à l'exemple du lapin transgénique : naturel ou artificiel ? *Quid* d'un veau cloné : nature ou artifice ? Le veau qui n'a pas été cloné est lui aussi issu d'une intervention



artificialisante très ancienne, la sélection artificielle. Comment distinguer les deux afin d'être en mesure de mieux situer la nouveauté des technologies convergentes ?

Un premier critère, celui qui nous vient d'Aristote, ne s'applique plus : on ne peut pas opposer OGM et non-OGM, clone et non-clone, suivant le critère de l'origine de la production (selon le partage entre ce qui est fait de main d'homme et ce qui est produit par la spontanéité de la nature). Dans tous ces cas en effet, il y a bel et bien une intervention artificialisante humaine.

Un autre critère serait celui des critères intrinsèques : y a-t-il quelque chose dans nos artifices aujourd'hui qui permet de les qualifier d'artificiels ? La réponse est souvent négative : en l'état actuel des connaissances, il semble qu'il n'y ait pas vraiment moyen de distinguer dans un enclos le veau cloné du veau issu d'un processus plus classique de sélection artificielle.

Quel angle d'attaque peut-on définir pour réintroduire cette distinction entre nature et artifice ? On esquisse une perspective possible, en prenant en compte l'échelle de nos interventions artificialisantes. Pratiquer la sélection artificielle revient à intervenir à l'échelle du phénotype (croiser des espèces en fonction de caractéristiques d'intérêt phénotypique : pour un cheval de course, ses performances, sa vitesse etc.). Intervenir par des techniques sophistiquées dans la cellule elle-même, c'est intervenir techniquement aussi, mais à une autre échelle. Dans les deux cas, nous intervenons, mais nous ne nous « branchons » pas sur les mêmes forces, sur les mêmes processus naturels : le sélectionneur traditionnel n'est pas en rapport avec les mécanismes intracellulaires.

Conclusion

Il ne faut pas s'intéresser à connaître si c'est la nature ou l'homme qui fabrique, ni même savoir s'il y a des critères distinctifs dans l'objet ou l'être fabriqué qui le marquerait comme artificiel par opposition aux êtres naturels.

Pour déterminer ce qu'il y a de nouveau dans les technologies convergentes, et être ainsi en mesure de les juger, il faut par conséquent s'intéresser aux forces, aux processus avec lesquels elles nous mettent en rapport. Il faut décrire les types de couplages qui se trouvent établis entre nos capacités technologiques et des forces naturelles avec lesquelles nous n'étions pas en rapport dans le passé.

En quoi cette perspective permet-elle de juger ? En ceci que tous les couplages entre forces humaines et forces du dehors ne se valent pas (le philosophe Gilles Deleuze a dit de belles choses à ce sujet). Il n'y a pas lieu de dénoncer le pouvoir de « dénaturation » que les technologies feraient subir à une nature primordiale, puisque celle-ci n'a jamais existé ; en revanche, il n'y a pas lieu de conclure que nos interventions dans les processus naturels, les couplages que nous réalisons en nous mettant en rapport, à des échelles déterminées, avec ces processus, se valent tous. Il y a des différences que l'on peut rapporter à des valeurs pour juger.

On peut donc par ce biais retrouver une capacité de juger les types d'agencement que nous sommes en train de construire entre l'homme et la nature. A condition toutefois de permettre au citoyen de se tenir très informé des pratiques de laboratoire, là où se produisent ces



couplages (ce qui ne veut pas dire exactement la même chose que mettre en place une « société de la connaissance »).

Il semble que l'enjeu d'une démocratisation de la technologie aujourd'hui soit en effet de permettre au citoyen de savoir très concrètement ce que font les scientifiques dans les laboratoires, quels sont les protocoles, les méthodologies, les processus de production impliqués dans la mise au point de ces êtres étonnants, comme ces petites machines que la matière elle-même est amenée à fabriquer par voie d'auto-assemblage.



5.6.6 *Nanotechnologies : la prise en compte des aspects éthiques, légaux et sociétaux dans les dynamiques institutionnelles internationales - Docteur Françoise D. ROURE, 21 octobre 2008*

La question de la création et du maintien de la confiance des consommateurs dans les technologies convergentes à l'échelle nanométrique est cruciale pour le devenir du progrès scientifique et technique au XXI^{ème} siècle. Parce que celui-ci est lié à la possibilité même du progrès humain, dans les limites de l'essence et de la dignité de l'être humain qui est tout aussi fragile et vulnérable que la civilisation qu'il a forgée, la prise en compte des aspects éthiques, légaux et sociétaux des nanotechnologies par les consommateurs et les citoyens est non seulement légitime, mais éminemment souhaitable.

Puisque ces enjeux dépassent d'ores et déjà et pour longtemps le cadre de gouvernance privatif et national, les dynamiques institutionnelles internationales constituent un espace pertinent d'exercice des responsabilités publiques en ce domaine.

1. L'éthique, précurseur de la régulation dans les systèmes démocratiques

Il n'y a pas d'éthique possible dans une société démocratique fondée sur la science et la technique sans procédures librement consenties par tous les citoyens pour fixer des limites à ce qui peut être réalisé. Une tension fondamentale se manifeste donc ici entre l'imaginaire qui gouverne les avancées technologiques et les conditions mêmes de l'éthique. Il faudra faire preuve de beaucoup de lucidité au sujet de cette tension si l'on veut éviter à terme des réactions violentes de rejet par les consommateurs et les citoyens pour toutes les applications des nanotechnologies, sans distinction ni discernement.

2. Les nanotechnologies, rappel des définitions, des domaines applicatifs, des approches coût bénéfique et de leur limite

La définition de travail des nanotechnologies par l'ISO était de voir, comprendre, manipuler, créer des objets à l'échelle nanométrique ; la spécification technique ISO TS d'août 2008 donne les raisons de la définition de l'échelle nanométrique (nanoscale) par la taille approximativement entre 1 et 100 nanomètres : la matière à son premier niveau d'organisation au-delà de l'atome se comporte différemment de la matière à une échelle micrométrique. Les effets de surface et de confinement quantique en sont à l'origine. Il existe aussi un potentiel de radioactivité interne des nanoparticules (cf. travaux de toxicologie en cours à l'OMS). Le terme nanotechnologie ne crée pas un « fantôme » ; il recouvre une réalité transverse à de multiples secteurs. Ceci n'est pas sans importance pour l'applicabilité de la loi ainsi que du principe de précaution bien compris tel qu'il est transcrit par exemple dans la loi du 1^{er} août 2008 relative à la responsabilité environnementale

3. La nature systémique des risques induits par les nanotechnologies :

Nous préférons l'étude des changements induits par les nanotechnologies, ou encore effets des nanotechnologies, ce qui évite de les qualifier a priori de positifs ou négatifs et permet



une approche rigoureuse de nature scientifique. Ces changements sont systémiques dans la mesure où les liens de causalité simple sont l'exception et la « co-conception coproduction » des changements part diverses sources, ou causes, la règle. Cela n'est pas sans incidence sur les régimes et l'identification des responsabilités (par exemple identifier avec certitude dans le « bruit » des poussières ultrafines présentes dans l'air urbain celles qui relèvent de la nature, celles qui sont le résultat de la combustion et émises en sortie de pots catalytiques, ou celles qui proviennent de telle production industrielle ou de tel produit est pratiquement impossible).

Nous identifions cinq grandes dimensions selon lesquelles peuvent être appréhendées les grandes questions éthiques soulevées par l'essor des nanotechnologies. Pour nous adopter une approche équilibrée et neutre au regard de l'appréciation des changements induits, nous parlerons d'effets des nanotechnologies.

Il convient de distinguer :

- les effets sur les relations de domination (effets de pouvoir) : conditions asymétriques d'accès au savoir, à la propriété intellectuelle, à la production, aux bénéfices.

Ces effets peuvent être anticipés d'agendas distincts, tels que ceux du mouvement transhumaniste qui promeut l'augmentation des performances humaines par les apports des sciences cognitives et des interfaces homme-machine, voire par l'hybridation ou l'instrumentalisation de l'ADN, hors de toute réglementation (en contrepoint de cette revendication les sociétés se sont organisées pour proscrire le dopage dans le domaine du sport au nom de l'égalité dans la compétition par des réglementations qui sont régulièrement transgressées). D'autres agendas tels que ceux relatifs à la recherche de la suprématie d'un système de forces dans lequel le combattant (public ou privé, armée ou milice) bénéficie d'un environnement et/ou d'un traitement spécifique, généralement réversible. Dans le domaine de la science-fiction, Isaac ASIMOV a décrit l'arme ultime sous le néologisme anglais «mentolics » pour désigner la domination par la puissance de l'esprit (anticipant ainsi sur les néologismes de la seconde moitié du XXème siècle : électronique, molétronique pour l'électronique moléculaire).

- les effets sur le rapport à la nature (effets ontologiques) : c'est évidemment surtout au sujet de lui-même et de sa propre nature, s'il reconnaît qu'il en a une, que l'homme devra décider des seuils de transformation de celle-ci au-delà duquel il ne veut pas aller ;

- les effets sur le rapport à la connaissance (effets épistémiques) : avec les nanotechnologies, la philosophie de la science qui prévalait depuis le XVIIIème siècle, selon laquelle on ne peut connaître qu'en faisant, par l'expérience, devrait trouver son aboutissement ultime.



Mais avec les nanotechnologies et la possibilité de créer par ingénierie inverse (bottom up, auto-assemblage), ce n'est plus seulement en faisant des expériences sur la nature, ce n'est plus seulement en la modélisant que les hommes connaîtront cette nature. C'est littéralement en la re-faisant. Mais, du coup, ce n'est plus la nature qu'ils connaîtront, mais ce qu'ils auront fait. Pour le Professeur Jean-Pierre Dupuy, c'est l'idée même de nature, donc de donné extérieur à soi, qui apparaîtra comme dépassée. La distinction même entre connaître et faire tendra à perdre son sens, de même que celle qui sépare encore aujourd'hui le savant de l'ingénieur.

- les effets éthiques, ou la possibilité même de l'éthique :

Les nanotechnologies ouvrent un continent immense que l'homme va devoir normer s'il veut leur donner sens et finalité. Il faudra que le sujet humain recoure à un surcroît de volonté et de conscience pour déterminer, non pas ce qu'il peut faire, mais bien ce qu'il doit faire. Il y faudra toute une éthique, infiniment plus exigeante que celle qui, aujourd'hui, se met lentement en place pour contenir le rythme et les dérives possibles des biotechnologies.

Le caractère proliférant des publications scientifiques, des dépôts de brevets et des applications, reconnu dans les études de scientométrie présentées à l'Agence nationale de la recherche (ANR) comme à l'Organisation pour la coopération et le développement économique (OCDE), rend chaque jour plus actuelle cette préoccupation.

- et les effets métaphysiques. Avec la méta convergence à l'échelle nanométrique de technologies à capacité transformationnelle (nanotechnologies, biotechnologies, technologies de l'information et sciences et technologies cognitives) et en gardant à l'esprit les échelles de temps prospectives, l'effet le plus troublant est sans conteste le brouillage des distinctions catégorielles au moyen desquelles l'humanité, depuis qu'elle existe, s'est toujours repérée dans le monde.

Le naturel non vivant, le vivant et l'artefact sont, prospectivement parlant, en bonne voie de fusionner. On peut tout à la fois considérer que les métaphores mécanistes et informationnelles sur lesquelles se sont bâties tant les sciences cognitives que la biologie moléculaire, sont scientifiquement et philosophiquement fausses et concéder qu'elles nous donnent une puissance d'agir et une maîtrise radicalement inédites sur le donné naturel et vivant. Si tel est le cas, les succès mêmes que remporteront les nouvelles technologies rendront les représentations mécanistes et informationnelles de la nature et de la vie incontestables et nul ne pourra plus voir qu'elles sont illusoire. Il n'est pas exagéré de parler d'effets métaphysiques qui ne sont pas neutres quant à la représentation et la mise en scène de la feuille de route des nanotechnologies, en particulier sa branche la plus lointaine quant aux applications de masse, à savoir la biologie de synthèse.



Nanotechnologies : quatre générations de produits et de procédés de production

La question éminemment éthique des limites aux possibilités ouvertes par les nanotechnologies n'étant pas, ou mal posée, la conséquence immédiate en est le risque de décalage fort et à court terme, des perceptions des opinions publiques dans l'Union européenne et dans le reste du monde, avec des effets très incertains sur la poursuite de l'appui public aux développements scientifiques et technologiques en ce domaine. (Cf. l'ouvrage d'Etienne Klein « Galilée contre les Indiens »).

4. Les conséquences de la nature systémique des risques induits sur l'évaluation des changements induits par les nanotechnologies.

Posée dès la première réunion du Dialogue international sur le développement responsable des nanosciences et des nanotechnologies, la question de l'émergence d'une méthode unifiée, dynamique et normative d'évaluation des changements induits par les nanotechnologies, incluant les risques comme les bénéfiques, est devenue centrale à l'enjeu de régulation. En effet, sans elle il est vraisemblable que la divergence potentielle des réglementations nationales dans un marché globalisé, qui est un risque en soi, devienne réalité. Le cas échant, nous passerions, collectivement, à côté d'une occasion d'apprendre des crises de confiance et de gouvernance passées et présentes entre la société civile et les décideurs publics (nucléaire, amiante, organismes génétiquement modifiés) en travaillant à la conception d'un cadre normatif adéquat pour les nanotechnologies et leurs applications. En ce domaine, les chercheurs en sciences économiques et sociales ainsi que les historiens des sciences, ont encore beaucoup à apporter au législatif et à l'exécutif, de même que la société civile organisée.

La Conférence européenne des syndicats souligne clairement ce point dans sa résolution du 25 juin 2008 sur les nanosciences et les nanotechnologies lorsque elle déclare : « Après le scandale de l'amiante, qui a fait des centaines de milliers de morts parmi les travailleurs, et alors que l'UE vient de se doter d'une nouvelle législation sur les produits chimiques qui reconnaît le principe du transfert de la charge de la preuve sur les fabricants, la CES ne peut plus accepter que des produits soient fabriqués sans connaître leurs effets potentiels sur la santé humaine et l'environnement ou, si tel est le cas, sans qu'une approche reposant sur le principe de précaution ait été mise en place et rendue transparente pour les travailleurs. »

Les forces en présence jouent sur le caractère inédit, inouï, du comportement de la matière à l'échelle nanométrique pour conserver un cadre réglementaire et de surveillance des marchés qui reste fragmenté, vertical, plus adapté aux usages des produits finis qu'aux spécificités des nanoparticules et matériaux manufacturés, présents en tant que biens intermédiaires dans la chaîne de la valeur de produits relevant de secteurs applicatifs distincts (cosmétique, peintures et enduits, produits pharmaceutiques, composants électroniques, etc.).

Or, les risques apparaissent à l'échelle nanométrique et la mutualisation des connaissances, des recherches, des méthodes de test, semble être de nature à diminuer incertitude et



complexité ainsi que les coûts tout en rendant la réglementation, lorsqu'elle existe ou existera, réellement applicable.

La surveillance des marchés ne peut pas s'exercer valablement jusqu'à des échelles nanométriques tant que les tests ne sont pas encore disponibles et que les processus de translocation des nanoparticules libres dans le corps humain (par inhalation ou ingestion par exemple) restent encore largement à déterminer par des études de toxicocinétique. Ceci constitue une justification, pour la DGCCRF et la DGS du soutien qu'elles apportent aux dynamiques institutionnelles internationales dont la mission est d'accélérer l'identification des priorités et d'assurer la prochaine disponibilité de ces tests (ISO, OCDE notamment).

S'agissant d'un terrain d'intérêt commun, il devrait logiquement se révéler, le moment venu et par l'approfondissement du dialogue responsable aux niveaux de subsidiarité pertinents, un espace de consensus sur l'utilité économique et sociale d'une méthode unifiée d'évaluation des changements induits par les nanotechnologies, ou technologies convergentes à l'échelle nanométrique. Là encore, les chercheurs ont toute leur valeur à apporter pour guider les préfigurateurs de la gouvernance par l'établissement de modèles, dans l'expression des retours d'expérience, dans les processus d'apprentissage et d'appropriation, par les revues de pairs notamment, dans le décodage des référentiels de valeur pour le choix des critères les plus pertinents. Par exemple, la toxicité en matière d'applications thérapeutiques relève d'une approche de balance coût/bénéfice en fonction des pronostics qui est bien distincte de celle d'un consommateur pour un produit largement diffusé.

Bien d'autres critères que ceux relatifs à la toxicité et à l'écotoxicité sont pertinents en termes d'évaluation dynamique normative, par exemple :

- les critères éthiques, légaux et sociétaux qui se révèlent dans un dialogue Science – Société à condition d'investir dans la connaissance et d'intégrer les recommandations dans la décision publique ;
- les critères de l'éducation, de la formation et de l'information, de l'accès à l'état de l'art et son évolution ;
- les critères de sûreté publique.

Mais la mise en place aux plans européen et international de méthodes d'évaluation multicritères qui permettent aux représentations nationales, comme à la société civile et aux consommateurs, de se faire une idée de ce qui est souhaitable et de ce qui est contraire au bien commun, si elle est indispensable, ne va pas de soi, principalement pour trois raisons :

a) la concurrence entre Etats l'emporte souvent sur la coopération, sauf pour des cas d'urgence éthique (médecine). Les programmes de recherche fondamentale et tournée vers l'innovation démarrent et s'accélèrent simultanément dans de nombreuses parties de ce monde : USA, Canada, Brésil, Union européenne (Allemagne, France, Royaume-Uni, Italie, Pays-Bas, Belgique, Finlande, Roumanie, programmes communautaires Eurêka (CATRENE), PCRD, mais aussi Israël, Russie, Iran, Arabie saoudite, Afrique du sud, Inde, Chine, Corée du sud, Taïwan, Singapour, Australie, avec une dépense publique s'élevant à 13 milliards de dollars en 2008, dont 1,5 Mds\$ pour la seule initiative nationale américaine ;

b) parce que le secret des affaires l'emporte souvent sur la compréhension des avantages d'une mutualisation des savoirs, par exemple par la constitution, à situer entre le tableau de



Mendeleïev et le catalogue des produits finis nano-structurés, d'un inventaire exhaustif des nanoparticules de synthèse et de leur comportement en milieu naturel ou artificiel et d'une architecture logicielle ouverte permettant de fonder cet inventaire sur un langage numérique unifié du comportement de la matière à l'échelle nanométrique ; pour un marché qui serait supérieur à 2 600 milliards de dollars en 2020, selon les consultants autorisés du marché, l'observatoire français NanoTrend identifie, en 2008, 11 000 entreprises dans le monde entier qui publient ou déposent des brevets dans les nanosciences et nanotechnologies, parmi lesquelles la nanoélectronique est bien représentée, ce qui donne un rôle moteur à l'Asie. La croissance du nombre de brevets est supérieure à 10% par an ;

c) parce que la compétition entre chercheurs tend à l'emporter, au stade de la valorisation, sur l'orientation prioritaire des efforts sur des finalités à forte utilité publique et sur la possibilité même de l'innovation responsable lorsque des brevets ont été accordés sur un périmètre trop large ou lorsque le nombre de brevets à utiliser pour constituer une application ou un produit innovant s'avère économiquement inaccessible pour une PME ou une start-up.

5. La portée et les limites des relations institutionnelles internationales en matière d'optimisation du cadre normatif applicable aux nanotechnologies

Pour un panorama des dynamiques institutionnelles en cours en 2008, il conviendra de se reporter à l'article diffusé à l'occasion de l'audition par le CNC et notamment le tableau de synthèse.

Nous retiendrons le fait que l'OCDE est plutôt en avance sur les agences spécialisées de l'ONU en matière d'identification des domaines pertinents pour la gouvernance des nanotechnologies aux plans international et domestique, avec le groupe de travail sur les matériaux nanostructurés (WPMN) qui relève du comité Chimie de l'OCDE et dont l'un des objectifs est de parvenir à des lignes directrices et à des tests, en partenariat avec l'ISO, sur quatorze nanoparticules prioritaires et le groupe de travail sur la nanotechnologie (WPN), qui dépend du Comité pour la politique scientifique et technique (CSTP) de l'OCDE et dont l'un des groupes se focalise sur les questions sociétales (cf. séminaire de Delft des 30 et 31 octobre 2008). Par contre, la dynamique de l'OCDE n'est pas assez inclusive pour être pertinente au regard des marchés et des enjeux éthiques, légaux et sociétaux : la Chine, l'Inde, le Brésil et les pays en développement ne participent pas ; Israël et la Russie sont observateurs, de même d'ailleurs que la Commission européenne, dont la valeur ajoutée est significative.

La FAO et l'OMS ont bien identifié la question de la gouvernance des risques en matière de nanotechnologies et l'OMS a créé dans le cadre de son programme d'évaluation PAVEL un groupe de travail sur la toxicité des nanoparticules de synthèse. Nous sommes toutefois encore très loin de dispositions normatives et là également la question de la disponibilité de tests et de l'expertise indépendante se pose.

L'Union européenne a intégré aux appels d'offres du 7ème PCRD des programmes importants de recherche, en particulier Nanosafe 2, NanoObservatory, Framing Nano et ICPC NanoNet, dont les résultats pris ensemble, d'ici 2011, devraient permettre de progresser dans la mise en place de réseaux d'expertise, l'orientation des priorités de recherche liées au principe de précaution et l'évaluation de la réglementation. La question de la coordination de ces actions avec celles initialisées à la demande de la Commission ou à leur initiative par les



agences européennes spécialisées (EChA, EMEA, EFSA, JRC,...) n'est pas, à ce stade, résolue.

6. La question du label, ou comment aider le consommateur à choisir en situation d'incertitude et de complexité

Cruciale pour les consommateurs, la question de l'innocuité des produits mis sur le marché (hors thérapie) est essentielle et actuelle.

Pour autant, la création rapide et non pesée d'un label national qui n'apporterait pas un vrai «plus» en termes de confiance informée, risquerait d'aboutir à l'effet inverse : la défiance généralisée.

Un label de type « Nano Inside » n'apporte pas d'information sur le caractère d'un produit à la vente, lors de sa consommation et lors du traitement des déchets en aval du cycle de vie. Pas plus que « atom inside ».

Un label qui pourrait afficher l'information « produit comportant des nanoparticules, sûr et conforme au développement durable de sa conception à sa fin de vie », en anglais « nano safe and sustainable by design », apporterait aux consommateurs l'information dont ils ont besoin pour se déterminer.

La création lors de la réunion plénière de l'ISO TC 229 à Shanghai en novembre 2008 d'un groupe de travail sur les nanotechnologies « soutenables » est un élément qui va dans ce sens car il permet d'envisager la possibilité d'adosser le label à un standard. Pour autant, la création de ce label et son usage requièrent le temps nécessaire à l'évolution de la production industrielle, depuis le design jusqu'aux méthodes de traitement des déchets industriels et ménagers.

L'émergence de standards mondiaux avec les tests correspondants pour la surveillance du marché, permettrait des économies aux producteurs (évitement de standards multiples) et par conséquent une adoption volontaire rapidement généralisée, ainsi qu'une ouverture des marchés évitant les phénomènes de dumping écologique ou de précaution pour la santé des consommateurs selon qu'ils vivent dans des zones très réglementées ou dans les pays les moins avancés.

Il conviendra toutefois de favoriser la formation et la viabilité économique de réseaux d'expertise et de laboratoire indépendants très bien équipés, pour permettre aux autorités en charge de la surveillance des marchés, aux consommateurs, aux associations de la société civile qui le souhaitent, ainsi qu'aux personnes morales participant à la chaîne de la valeur (recherche, production, intégration, importation, distribution), de faire appel à ces centres de ressource en toute confiance.



Conclusion particulière sur les aspects éthiques dans le domaine des procédés et produits thérapeutiques fondés sur les nanotechnologies.

La question des applications de santé relative à l'augmentation des performances humaines ne fait pas partie de la feuille de route des investissements publics de R&D en Europe, le Parlement européen s'étant très clairement exprimé en ce domaine en faveur d'une revue préalable des finalités de ce type de projet de recherche, avec publication des résultats, avant de consacrer le premier euro à ce type de recherche.

Le problème auquel les pouvoirs publics sont confrontés, a plutôt trait aux forces du marché qui, parce qu'elles bénéficient de produits matures et souhaitant prolonger la rentabilité de molécules anciennes, feraient obstacle à l'évolution de la réglementation en faveur de l'utilisation de procédés nanotechnologiques physiques, de traitement du cancer par exemple, lorsque les chimiothérapies trouvent leurs limites d'efficacité et que les pronostics sont réservés.

Si, pour des erreurs d'appréciation des politiques publiques et/ou des retards à l'adoption d'une démarche d'innovation responsable par les entreprises, il devait se créer une situation irréversible dans laquelle il serait fait obstacle à la liberté de recherche fondamentale, ainsi qu'à l'autorisation d'utiliser des procédés radicalement innovants (lasers s'appliquant sur des nanoparticules, ou structures organiques nano-vectorisées par exemple), nous serions confrontés à un déni d'éthique particulièrement inacceptable.



5.6.7 *Enjeux éthiques des Nanotechnologies - Intervention du Dr Vanessa NUROCK, CEA, 21 octobre 2008*

INTERVENTION DU DR Vanessa NUROCK

AGREGÉE ET DOCTEUR EN PHILOSOPHIE, ETHICIENNE AU LABORATOIRE DE RECHERCHE SUR LES SCIENCES DE LA MATIÈRE (CEA) ET MEMBRE DU GROUPE DE RECHERCHE « BIONANOETHICS » (ANR)

Enjeux éthiques des Nanotechnologies

Evidence de la nanoéthique ?

Affirmer que les nanotechnologies engagent des enjeux éthiques est devenu aujourd'hui un véritable lieu commun. Une telle idée est en effet posée comme un point de départ, voire une évidence dans de nombreux rapports officiels. Par exemple :

“It seems highly likely that some nanotechnologies will raise significant social and ethical concerns.” The Royal Society & The Royal Academy of Engineering Nanoscience and Nanotechnologies July 2004 p. 51;

« Il est évident que l'on doit se poser la question, ici plus que jamais, du rapport épistémologique de l'éthique à la science. » CCNE, Avis 96 p. 16 ;

« La perspective de manipuler la matière à l'échelle moléculaire et d'interférer avec le monde du vivant pose bien évidemment des questions d'éthique. » Plaquette du Ministère de la Recherche, citée par Dupuy 2004 p. 2.

Par ailleurs, au sein même du monde académique, il semblerait que l'existence de la nanoéthique soit également une évidence. Ainsi, une revue éponyme « nanoethics » spécialisée sur le sujet, a été fondée en 2007. Il semblerait qu'elle témoigne, peut-être sans que les philosophes eux-mêmes s'en soient vraiment rendus compte, de l'émergence d'une nouvelle sous-discipline de l'éthique appliquée.

Cette évidence de l'existence de la nanoéthique s'accompagne de l'évidence d'une nécessité d'action anticipatrice, notamment causée par le malaise et la peur, accentués par des événements ou des expériences antérieurs tels l'amiante, les OGM et, au moins pour les chercheurs, les cellules souches. Par exemple, un communiqué de presse très récent de l'AFSSET (AFSSET AFP 10/10/08) souligne qu'il n'est « pas question de réagir comme ce fut le cas pour l'amiante une fois que les dégâts pour la santé seront avérés ». On peut également noter cette phrase du mandat du CNC : « les peurs naissent de la méconnaissance



des phénomènes mais aussi du sentiment que les préoccupations exprimées ne sont pas prises en compte ».

Que peut proposer l'éthique philosophique ?

Au sein de la philosophie, la philosophie morale ou éthique (j'utilise les deux termes de manière synonyme ici) constitue un champ de spécialité dont l'origine remonte à l'antiquité grecque. Certains de ses concepts ou théories peuvent offrir une aide face aux questions que nous nous posons devant les nanotechnologies. Cette aide peut s'envisager selon deux axes principaux :

1. Démêler les problèmes et attirer l'attention sur l'urgence éthique de certaines recherches scientifiques. Faire certains choix, pour des raisons éthiques, en fonction des éléments scientifiques dont nous disposons.

2. Prendre en charge, parmi ces problèmes, ceux qui sont consistants d'un point de vue éthique en proposant une analyse philosophique. En ce sens, la philosophie peut notamment permettre de distinguer, dans les discours, d'une part, ceux qui s'inscrivent dans le cadre d'une argumentation rationnelle à partir de données avérées ou probables et d'autre part, ceux qui relèvent davantage du champ fantasmatique. Pour autant, l'une des particularités du groupe de travail Bionanoéthique dont je fais partie (cf. notamment *Bionano-éthique ?* Vuibert 2008, dir. Bernadette Bensaude-Vincent, R. Larrère, V. Nurock) est de considérer que, si cette distinction est certes absolument nécessaire, il importe néanmoins de ne pas laisser de côté tout l'accompagnement imaginaire et mythologique des nanotechnologies, qui doit faire l'objet d'une analyse particulière.

Toutefois, si le fait que les Nanotechnologies/Nanosciences posent des questions éthiques apparaît comme une évidence, il est beaucoup moins évident de savoir quelles sont ces questions nano-éthiques. En effet, la nanoéthique se trouve confrontée à 3 types de difficultés :

- le hype ;
- l'absence de définition claire des Nanos ;
- le fait qu'il s'agit d'un domaine évolutif et encore relativement émergent.

Qu'est-ce qu'une question éthique ?

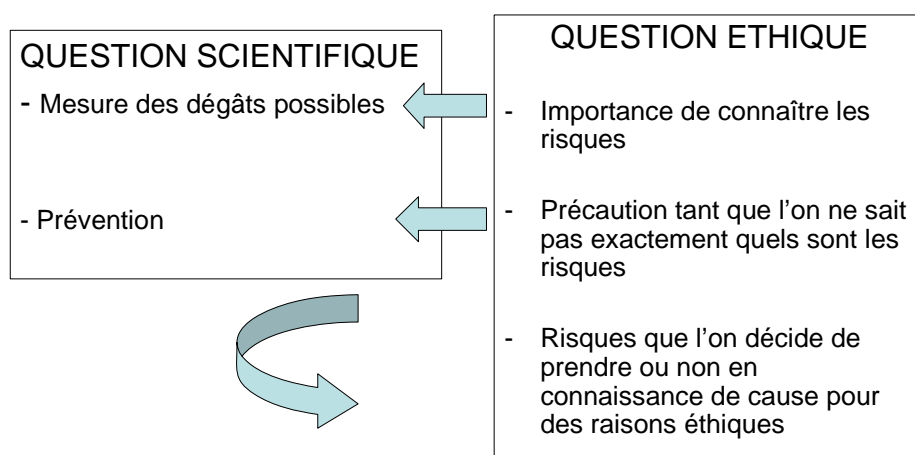
Pour commencer, on peut caractériser l'éthique au sens philosophique par sa dimension normative (vs descriptive), elle énonce des jugements normatifs, qu'il s'agisse de normes ou de valeurs. Pour dire les choses simplement, le jugement éthique se pose en termes de bien et de mal, de juste et d'injuste. Par ailleurs, ces problématiques éthiques sont parfois étroitement liées aux problématiques politiques.

Les questions éthiques diffèrent donc de l'acceptabilité sociale ou culturelle, mais aussi d'une logique qui serait celle des coûts des risques ou des bénéfices. L'éthique diffère encore, d'une part, de la régulation juridique ou de la régulation conventionnelle et, d'autre part, des données scientifiques.

Par ailleurs, certaines questions concernant les nanotechnologies ne relèvent qu'indirectement d'une analyse éthique, ce que j'appelle des *questions éthiques de « second ordre »*. L'éthique soutient ici l'analyse, mais elle n'en constitue pas le tout, et elle interagit avec le travail purement scientifique. C'est par exemple le cas des interrogations portant sur les risques toxicologiques, qui sont pourtant très fréquemment cités lorsque l'on pense à l'éthique des nanotechnologies. Mesurer les dégâts possibles est une question scientifique, ce n'est pas une question éthique. Les mesures de prévention à prendre pour protéger les gens relèvent également partiellement d'une prise de décision à partir de données scientifiques.

L'éthique peut néanmoins intervenir en amont et en aval. En amont, elle peut souligner l'importance de connaître les risques. Dans le cadre d'une politique de prévention, dire qu'il faut être prudent tant qu'on ne connaît pas les risques est également une position éthique. En aval, dès que l'on connaît les dégâts possibles (question scientifique), on peut également décider de prendre ou non certains risques, en connaissance de cause, pour des raisons éthiques. L'approche éthique ne signifie pas « ne pas prendre de risques » le fameux « risque zéro » mais cela veut dire que certains risques nous semblent ou non acceptables en vertu de raisons morales. (cf. figure)

Exemple de question éthique « de 2^e ordre » (toxicologie)



Les théories éthiques sont sous-tendues par une vision du monde. Les deux principales théories éthiques sont, d'une part, *le conséquentialisme* et, d'autre part, *le déontologisme*. Estimer qu'une chose est bonne parce qu'elle constitue le plus grand bien pour le plus grand nombre est une approche conséquentialiste de l'éthique. En revanche, considérer qu'il existe des devoirs inconditionnels, affirmer par exemple qu'en vertu de la « dignité humaine », le clonage devrait être interdit est une approche éthique sous-tendue par la vision déontologique.

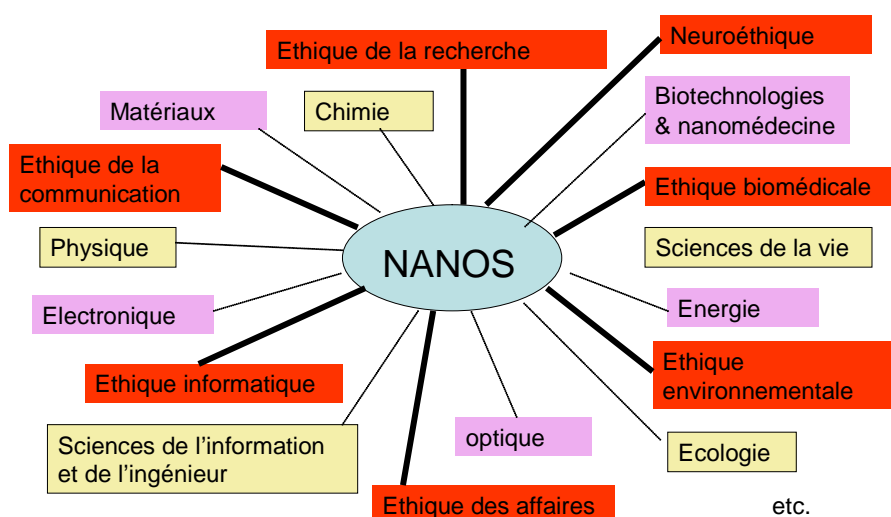
Concernant les nanotechnologies, la question d'ensemble qui se pose à l'éthique est la suivante : *avons-nous des raisons morales de promouvoir, d'interdire ou d'autoriser sous condition les nanotechnologies ?*

Autant dire que cette question nécessite des analyses précises et circonstanciées et qu'il est impossible de les conduire dans le peu de temps dévolu à cette audition.

Quelles sont les questions nano-éthiques ?

C'est devenu un lieu commun d'affirmer que les nanotechnologies sont un carrefour scientifico-technologique. Mais j'avancerai l'idée qu'il s'agit également d'un carrefour nano-éthique, c'est-à-dire un carrefour qui inclut différents domaines de l'éthique appliquée : l'éthique biomédicale, l'éthique des affaires, l'éthique informatique, l'éthique environnementale, l'éthique de la recherche, la neuroéthique etc. (cf figure)

Nanos = carrefour de l'éthique appliquée



Les questionnements nanoéthiques se trouvent ainsi souvent à la jonction de plusieurs de ces champs. En ce sens, ils présentent la particularité d'être souvent complexes au sens où ils peuvent être décomposés. Pour autant, il n'est pas évident que cette complexité ne conduise pas à une spécificité et que le tout ne soit pas quelque peu différent de la simple somme des parties. Toutefois, cette décomposition peut être une aide précieuse pour l'analyse. C'est donc l'éthique pratique, dans son ensemble, qui se trouve mobilisée par la nanoéthique, mais celle-ci n'en est pas moins susceptible de poser des questions spécifiques.



Les principaux problèmes nanoéthiques

Si chaque question posée à/par la nanoéthique nécessite une analyse précise, qu'il est, répétons-le, impossible de conduire ici, on peut toutefois, pour mémoire, rappeler quelles sont les grandes questions dont on considère communément qu'elles relèvent de la nanoéthique. En voici les principales dimensions ainsi que quelques exemples :

- 1) Respect des droits fondamentaux
 - Protection des données personnelles
 - Surveillance
 - Equilibre entre intimité et sécurité
- 2) Equité
 - Accès inégal aux nanotechnologies (technologies de l'information, nanomedecine, etc.), voire "fracture nano"
 - Interactions globales
 - Accès inégal aux informations concernant les nanotechnologies
 - Modification de la "loterie naturelle"
- 3) Transformation du corps et de l'esprit humains (modification de l'humanité et de la moralité)
 - Modification des bases naturelles (physiques) de la morale
 - "Augmentation" (enhancement) non thérapeutique
 - Interaction homme-machine
 -
- 4) Santé et environnement
 - Modification du rapport à la nature, limites des atteintes à la nature (pollution)
 - Définition de la santé
- 5) Technologies duales

5.7 CONCLUSION

En conclusion, j'ai tenté de soutenir plusieurs thèses lors de cette audition :

- 1) L'imaginaire sous-tendant les nanotechnologies ne doit pas être balayé d'un revers de main, mais il ne doit certainement pas prendre la place de l'argumentation rationnelle, appuyée sur des données scientifiques. Il importe donc d'être vigilant vis-à-vis de cet imaginaire : d'en tenir compte (ne pas le dédaigner) mais de ne pas le laisser prendre la place de la discussion sur des bases rationnelles et scientifiquement documentées.
- 2) Toutes les questions que nous nous posons sur les nanotechnologies ne sont pas éthiques. Par exemple, les questions liées aux risques ou à la toxicologie ne sont que des questions éthiques que j'appelle « de second ordre ».
- 3) L'existence de questions éthiques posées par les nanotechnologies est évidente. Toutefois, la *spécificité* de la nanoéthique n'est pas évidente, les Nanotechnologies sont un « carrefour » éthique, ce qui n'exclut pas l'originalité dans l'interaction des domaines ainsi que la possibilité de questions inédites. Par ailleurs certaines questions éthiques très générales comme l'équité ou la responsabilité sont également posées par les Nanos.

Toute la difficulté de la nano-éthique est de réfléchir « avant que les dégâts soient évidents ». Elle doit être prospective sans disposer de tous les éléments puisqu'il s'agit d'un domaine en



plein développement : il faut être « en avant » en essayant de travailler de la manière la plus rigoureuse possible mais sans certitude absolue. C'est pourquoi il s'agit d'un chantier en co-construction entre la société, les sciences humaines et sociales. La spécificité nano-éthique se présente véritablement, non pas comme une nébuleuse, mais bien comme un carrefour à la fois extrêmement structuré et ouvert à de multiples possibilités.



5.7.1 *Intervention du Professeur Henri Temple - Henri TEMPLE, Université de Montpellier, 24 novembre 2008*

**INTERVENTION DU PROFESSEUR HENRI TEMPLE,
AVOCAT, EXPERT INTERNATIONAL, DIRECTEUR DU CENTRE DE DROIT DE
LA CONSOMMATION ET DU MARCHÉ, DIRECTEUR DU MASTER 2
PROFESSIONNEL CONSOMMATION ET CONCURRENCE A L'UNIVERSITE DE
MONTPELLIER**

Le Centre du droit de la consommation fondé en 1975, par le Professeur Jean Calais Auloy, est, d'une certaine manière, à l'origine de la matière. Le Professeur Calais Auloy peut être considéré comme l'un des pères fondateurs de la discipline.

De ce fait, le Centre dispose d'une vue d'ensemble sur l'évolution de la matière, le droit de la consommation, et sur son esprit. Il est très utile de ne pas s'éloigner de cet esprit pour éviter de se perdre dans les accumulations de législations. Il y a, en effet, une tendance à répondre dans l'urgence ou « le nez sur le guidon » à un nouveau problème par une nouvelle loi.

Mon intervention aboutira à une réflexion : est-il nécessaire, urgent, de proposer une nouvelle loi en matière de nanotechnologies ? Le système juridique actuel ne permet-il pas de répondre à ces questions et éventuellement aux craintes ?

En préambule, je précise que le droit a énormément changé depuis dix ans. Le management de l'entreprise est différent. La loi est intervenue massivement pour modifier complètement les rapports entre l'entreprise et les consommateurs, l'entreprise et ses fournisseurs, l'entreprise et ses distributeurs, l'entreprise et les pouvoirs publics. Il y a eu une transfiguration assez profonde au cours de ces dix dernières années. Bien souvent, les entreprises, notamment les PME, n'ont pas senti cette transition et ont des difficultés à s'adapter à ce monde nouveau. Il y a souvent un décalage entre la façon de gérer les problèmes de qualité-sécurité des produits et la loi.

Ma présentation repose sur trois points :

- les principes nouveaux concernant les produits ;
- les principes managériaux ;
- quel encadrement de la société ? ;
- quel encadrement la société devrait, ou ne devrait pas, donner à la question des nanotechnologies ?



I - Les principes nouveaux concernant les produits

Ces principes ont moins de 10 ans, parfois moins de 5 ans.

1 – Le principe de l’obligation générale de sécurité (OGS) - Art L 221-1 du code de la consommation

Ce principe donne un éclairage nouveau sur la façon dont l’entreprise doit manager cette question. « Les produits doivent présenter la sécurité à laquelle on peut légitimement s’attendre. »

Cette formulation (« les produits doivent ») est extrêmement efficace : on ne se demande pas si c’est les importateurs, les producteurs, les transformateurs, etc. Elle n’est pas réservée qu’aux consommateurs puisque le code de la consommation ne comprend uniquement des dispositions concernant les consommateurs. Cette règle va éclairer tout le reste.

2 – L’obligation générale de conformité – Art L 212-1 du code de la consommation

« Dès la première mise sur le marché, les produits doivent répondre aux prescriptions en vigueur relatives à la sécurité (...)des personnes »

Les produits mis sur le marché doivent se conformer très exactement à la réglementation. On est en deçà de l’OGS car s’il n’y a pas de texte qui définit les conditions de production et de commercialisation, on est donc franc et quitte.

3 – L’obligation générale d’information – Art L 111-1 du code de la consommation

« Tout professionnel vendeur de biens (...) doit, avant la conclusion du contrat, mettre le consommateur en mesure de connaître les caractéristiques essentielles du bien (...) ».

4 – La responsabilité du fait des produits défectueux- Art 1386-4 du code civil

« Un produit est défectueux lorsqu’il n’offre pas la sécurité à laquelle on peut légitimement s’attendre ». L’attente « légitime » est que le produit ne soit pas dangereux.

Voilà les quatre grands principes applicables aux produits, piliers du système juridique français et européen.

Le code de la consommation s’applique en France et la plupart des règles citées existent à l’identique dans d’autres pays européens. Le règlement 178-2002, qui concerne uniquement les produits alimentaires, n’est qu’une application des règles générales venant d’être indiquées.

Le principe de responsabilité du fait des produits vient d’une loi de 1998, venant elle-même d’une directive de 1983. Il ne faut donc pas opposer le droit français avec le droit communautaire, il y a une osmose entre les deux : tantôt le droit français est en avance et inspire le droit communautaire, tantôt le droit communautaire inspire le droit français.



Par ailleurs, si le règlement 178-2002 est opposable devant les tribunaux, il n'en va pas de même des directives. Une directive ne peut être appliquée devant les tribunaux que dans la mesure où elle a été transposée en droit interne.

Dans les textes concernant la responsabilité du fait des produits, l'article 1386-11 4, découlant de la loi de 1998, peut poser question en ce qui concerne les nanotechnologies :

« le producteur est responsable de plein droit ... », il permet de mettre en cause la responsabilité du producteur sans même avoir à prouver sa faute à une exception près « sauf s'il prouve que l'état des connaissances scientifiques et techniques, au moment où il a mis le produit en circulation, n'a pas permis de déceler l'existence du défaut. ».

Cette question des risques de développement est très importante. Un producteur de nanomatériaux pourrait dire « au moment où j'ai utilisé ces nanomatériaux, les connaissances scientifiques et techniques ne permettaient pas de connaître la dangerosité de ce produit. ».

Ce texte vient directement de la directive de 1983 sur la responsabilité du fait des produits défectueux. Il ne signifie pas que l'entreprise pourrait être exonérée de sa responsabilité mais que la victime devrait prouver sa faute.

II - Les principes managériaux

1 – L'autocontrôle

De nombreuses PME ignorent que la loi met à leur charge des obligations d'organisation d'un autocontrôle. Les consommateurs ont longtemps protesté contre cette idée que les entreprises devaient mettre en place des systèmes d'autocontrôles. Il leur paraissait que ce n'était pas une garantie suffisante pour assurer des produits sans danger.

L'entreprise met en son sein ou à l'extérieur de son sein (exemple : laboratoire extérieur), toute une série de règles de contrôle. Mais l'administration va d'une part, contrôler qu'un système d'autocontrôle existe et d'autre part, faire éventuellement des contrôles.

Je crois profondément que les systèmes d'autocontrôle doublent la sécurité des produits.

2 – La traçabilité

- Le règlement 178-2002 qui oblige les entreprises à tracer les produits alimentaires.

Il y a sur ce point précis une discussion au CNA sur le point de savoir jusqu'où doit remonter la traçabilité et jusqu'où elle doit descendre. A l'heure actuelle, les professionnels et quelques organismes de discussion semblent dire que cette traçabilité s'arrête juste avant et s'arrête juste près l'entreprise.

Ce n'est pas mon point de vue (cf. article dans la revue « Techniques de l'ingénieur »).

- Les produits non alimentaires semblent sujets à la même obligation, tracer depuis les composants jusqu'au produit fini chez le consommateur. Rien ne figure dans le code français de la consommation qui ne me paraît pas, pour le moment, totalement respectueux de la directive de 2001 sur la sécurité des produits.



La traçabilité se déduit cependant d'un certain nombre de textes concernant l'obligation de suivi : une entreprise de produits non alimentaires doit pouvoir les localiser, en cas de crise ou danger, elle doit être en mesure de les retirer ou de les rappeler.

L'application de ces règles ne me paraît cependant pas suffisante.

3 – Le principe de précaution

Il figure dans le code de l'environnement français et dans le règlement 178-2002 ainsi que, de manière allusive, dans le traité de l'OMC.

C'est le principe selon lequel, en cas de doute, d'incertitude technique ou scientifique, il convient de s'abstenir. Il n'interdit pas le produit, ni ne l'autorise. C'est un gel, un moratoire temporaire, le temps que l'on arrive à détecter si un produit ou une substance est dangereux.

4 – Le principe managérial relatif aux risques : analyse, gestion et prévention des risques et des crises

L'entreprise doit disposer d'une structure de veille techno-juridique pour anticiper ce qui pourrait se produire. En matière alimentaire, cette analyse « gestion-prévention » est prévue dans l'article 14 du Règlement 178-2002.

Dans ce cadre, l'entreprise peut être amenée à faire des opérations de retrait, de rappel ou d'information (des pouvoirs publics et des consommateurs). Cela implique la mise en place d'un plan de risque ou de retrait.

S'il y a un surcoût, il sera payé par le consommateur.

III – Quel encadrement la société devrait-elle donner à cette question ?

Je ne crois pas, pour le moment, à l'utilité d'une loi supplémentaire.

Sur ce point, les entreprises veulent un droit transparent qui ne change pas tout le temps. Donc créer une loi spéciale pour les Nanos ne paraît pas utile, à mon avis, pour le moment.

Nous avons les outils pour organiser une concertation permanente entre producteurs, administrations et consommateurs : les textes cités précédemment complétés par le code de l'environnement, Reach et la directive de 2001.

Il convient peut-être simplement de changer nos méthodes de travail. Dans le cadre d'un groupe de travail créant une sorte de charte sur les Nanos, approuvée par les consommateurs, les protecteurs de l'environnement, l'administration et les entreprises, il faut essayer de s'adapter à une technologie qui évolue très rapidement.

Donc faut-il adopter des textes qui risquent d'être dépassés ou essayer de les gérer de manière prudentielle ? Je suis favorable à la deuxième solution. Cela dit, je crois qu'il faudra cependant qu'il y ait un registre des Nanos ainsi qu'un recensement des entreprises qui en fabriquent ou en importent. Car si l'on ne sait pas qui fait quoi, en cas de crise sanitaire des Nanos, il ne sera pas possible de la gérer.

5.8 SYNTHÈSE DU COMPTE RENDU DU DÉBAT PUBLIC « NANOTECHNOLOGIES »⁵



⁵ Les documents relatifs au débat public sont consultables sur le site <http://www.debatpublic-nano.org/>

Une brève synthèse du débat public

Cette synthèse rédigée par la CPDP a pour seule ambition de faciliter la lecture du document complet en attirant l'attention sur quelques points forts du débat. En raison de sa brièveté et de la part inévitable d'arbitraire que suppose le choix des points traités, cette synthèse ne peut, évidemment, prétendre rendre compte avec toutes les nuances souhaitables de l'étendue et de la richesse du débat. Seul le compte rendu détaillé qui suit fait foi.

Le débat public sur les options générales en matière de développement et de régulation des nanotechnologies a été compliqué, perturbé, controversé. Le nombre de participants aux réunions, s'est révélé bien inférieur aux espérances de ses organisateurs. Il n'en demeure pas moins qu'il aura finalement largement contribué à porter sur la place publique des problématiques méconnues de la plupart de nos concitoyens.

Les échanges auxquels ce débat a donné lieu, les contributions et avis recueillis, les 51 cahiers d'acteur élaborés par des institutions dont la diversité reflète bien la complexité et la richesse de la société française, constituent une source foisonnante d'interrogations, de propositions et de prises de position. Il en émerge un certain nombre de points saillants que le présent compte rendu s'efforcera de mettre en lumière.

Le public a maintes fois posé la question de l'utilité de ce débat. La réponse est aujourd'hui, bien sûr, d'abord, entre les mains de ceux qui en ont demandé l'organisation mais aussi de tous ceux qui ont un rôle à jouer dans le développement de ces nouvelles technologies qui suscitent tout autant de grandes espérances que de grandes inquiétudes.

Un débat compliqué, perturbé, Controversé

Le déroulement du débat

Il est décrit de manière très détaillée dans la première partie de ce compte-rendu. L'encadré 1, (« La chronologie du débat »), complété par l'encadré

2 (« Le calendrier des réunions ») en donne une vision synthétique.

Nous n'en dirons pas plus ici, sauf à noter que le programme des réunions présenté dans l'encadré 2 tient compte du remaniement décidé au début du mois de février 2010. Afin de permettre l'approfondissement du thème « Éthique et gouvernance » qui apparaîtra finalement comme le thème central du débat, deux ateliers-débat, tenus à Paris sur ce thème se sont substitués aux réunions prévues initialement à Montpellier et à Nantes.

Un débat compliqué

Une première difficulté résidait évidemment dans la complexité scientifique et technique de l'objet même du débat. Comment permettre à ceux qui découvraient seulement le sujet, de prendre part à un débat où intervenaient des scientifiques, des médecins, des représentants d'entreprises, de syndicats, d'associations, déjà bien avertis, voire spécialistes du sujet. En fait, une petite introduction au « nanomonde » et un choix judicieux de panélistes capables d'expliquer en termes simples des questions scientifiquement complexes, ont généralement permis de surmonter cette difficulté. Le public a fort souvent réussi, et c'est heureux, à transformer en problématiques sociétales avec lesquelles il se sentait de plain pied, des problématiques scientifiques et techniques compliquées.

La deuxième difficulté résidait dans l'étendue et souvent le flou des sujets à traiter. Pressentant ce que serait l'attitude du public, la CPDP avait décidé.

SYNTHÈSE DU COMPTE RENDU

La troisième difficulté résidait dans la position « d'écoute » dans laquelle s'était placé le « maître d'ouvrage ». Elle avait l'avantage évident de ne pas bloquer le débat en lui opposant des décisions déjà prises et des positions non négociables. Nombre d'intervenants ont cependant affirmé que des décisions irréversibles avaient déjà été prises, et que des positions non négociables, existaient bel et bien. De ce fait, l'absence d'un projet explicite soumis au débat a souvent dérouté les participants.

Un débat perturbé

Le déroulement des réunions publiques a été émaillé de perturbations, suffisamment graves dans certains cas, pour conduire à l'annulation de la réunion ou à sa poursuite dans des conditions précaires.

Ces perturbations dont il sera rendu compte de manière factuelle et détaillée dans le cinquième chapitre de la première partie du compte-rendu, ont été le fait de collectifs ou d'associations qui, non seulement avaient décidé de « boycotter » le débat, mais aussi de tenter de le « saboter ».

La CPDP ne peut que déplorer ces agissements. D'abord, ils ont interdit de parole une partie du public et constituent de ce fait une atteinte grave et condamnable à l'un des principes de base de la démocratie : la liberté d'expression. Ensuite, certains des perturbateurs au moins, avaient peut-être des choses importantes à dire : leur expression eût été plus utile pour tous si elle s'était inscrite dans le débat.

Il n'y a pas lieu de dissimuler que ces perturbations ont singulièrement compliqué la tâche des organisateurs du débat. N'étaient-elles pas cependant, dans une certaine mesure, la conséquence inévitable de l'importance de ses enjeux ?

Un débat dont l'utilité a été controversée au sein même du débat

« Ce débat arrive trop tard. Il s'engage alors que l'on recense déjà plus de mille produits contenant des nanomatériaux sur le marché. L'État a déjà pris des décisions irréversibles. Donc ce débat n'est qu'une simple opération de communication. Il ne servira à rien. »

Tels ont été les arguments développés par les détracteurs du débat.

Les représentants du maître d'ouvrage ont, bien entendu, fait valoir que, compte tenu de l'essor prévisible des nanotechnologies, les décisions les plus importantes restaient à prendre, même si, en effet, un arrêt total du développement des nanosciences et des nanotechnologies était aujourd'hui une hypothèse à exclure. Ils ont trouvé de nombreux alliés pour défendre avec détermination ce débat dans son principe et dans son utilité : associations de consommateurs et de protection de l'environnement, syndicats, CESR...

Il n'en reste pas moins que la question qui permettra in fine de juger de l'utilité de ce débat reste posée : quelles suites donnera l'État aux avis, arguments et propositions exprimés au cours du débat ?

Le débat a largement contribué à porter sur la place publique des problématiques généralement ignorées de nos concitoyens

Les chiffres-clé du débat (voir encadré 3) parlent d'eux-mêmes.

La participation aux réunions publiques a été faible

Les organisateurs du débat ne comptaient évidemment pas sur les seules réunions publiques pour informer des millions de Français des problématiques du développement des nanotechnologies. Ils n'en ont pas moins déployé une communication très active, généralement bien relayée par les médias, pour essayer d'attirer le maximum de participants à ces réunions. Force leur est cependant de constater que la participation aux réunions du débat (3 216 personnes au total) a été bien inférieure à celle qu'ils espéraient.

Les perturbations qu'ont connues ces réunions, sont loin d'expliquer à elles seules cette faible participation. Même lorsque les réunions se sont tenues normalement (ou presque), le nombre de participants est resté relativement modeste : 330 personnes à Strasbourg, 350 personnes à Toulouse.

SYNTHÈSE DU COMPTE RENDU

Quelles explications donner à cette désaffection du public : Aridité supposée du sujet ? Désintérêt pour les questions scientifiques et techniques ? Saturation face à la multiplication de conférences et de débats sur les sujets les plus variés ? Préoccupations de court terme prenant le pas sur une réflexion sur le long terme ? Caractère désuet pour les plus jeunes de la participation physique à ce type de débat à une époque où des moyens de communication et d'échanges plus performants sont largement répandus ?

Ce dernier point est sans doute crucial pour l'avenir des débats publics sur des sujets de société. La retransmission sur Internet, en direct et en interactif, des réunions est intervenue trop tardivement dans ce débat pour permettre de se faire une opinion fondée à ce sujet.

L'activité du site Internet de la CPDP a été satisfaisante

Le contenu du site s'est enrichi progressivement au fur et à mesure de la progression du débat. Les 51 cahiers d'acteur mis en ligne, les *verbatim* des réunions, les avis et contributions, le jeu des questions-réponse, constituent aujourd'hui une base de données irremplaçable pour qui veut apprécier la diversité et le foisonnement des arguments, des opinions et des interrogations qui se sont exprimées durant ce débat

Le nombre de visites déjà important (195 429 au 31 mars 2010) est encore appelé à croître, ne serait-ce qu'à l'occasion de la publication du présent compte rendu.

La médiatisation du débat a joué un rôle essentiel dans l'information d'un large public sur les nanotechnologies

L'un des objectifs du débat était d'informer un public aussi large que possible et généralement peu au fait du sujet, de ce qu'étaient les nanotechnologies, des espoirs que l'on pouvait fonder sur leur développement, mais aussi des questions et inquiétudes que suscitait ce développement. La médiatisation intense du débat public et de son objet (1 175 retombées presse au 31 mars) a joué

un rôle essentiel en ce sens. Au-delà de l'information sur l'existence du débat et son déroulement, de commentaires sur ses péripéties, la presse écrite (papier ou Internet), les radios et les télévisions ont diffusé une information de fond, souvent substantielle, sur les nanotechnologies. Quel en sera l'impact réel ? Il est trop tôt pour le dire mais, au moins, nul ne pourra prétendre que les nanotechnologies n'auront pas été, à cette occasion, portées sur la place publique.

Quels enseignements peut-on tirer de ce débat ?

Un débat public, faut-il le rappeler, n'est pas un référendum. L'échantillon de la société française que constituent les participants au débat, n'est certainement pas « représentatif », au sens de l'IFOP, de la population française. Le compte-rendu du débat n'a pas vocation à émettre des recommandations. Toutes ces considérations justifient une grande prudence que l'interrogation lapidaire qui ouvre cette partie de notre synthèse, reflète insuffisamment.

Quoiqu'il en soit, il nous a semblé que du matériau de base d'une très grande richesse dont nous disposons (902 pages de *verbatim*, 51 cahiers d'acteur reflétant un éventail d'opinions très variées, les nombreuses questions, contributions et avis recueillis), émergeaient un certain nombre de points saillants, parfois relativement consensuels, parfois objets de controverses, que le présent compte-rendu devait s'efforcer de mettre en lumière.

Nous en donnons ci-dessous la liste, assortie de très peu de commentaires, et renvoyons pour plus de précisions à la seconde partie de ce compte rendu.

1. Un moratoire général sur les nanosciences et nanotechnologies est-il souhaitable ?

Cette hypothèse, que les Amis de la Terre et quelques autres considèrent comme étant la « seule solution raisonnable » a été vigoureusement contestée, en particulier par les chercheurs.

SYNTHÈSE DU COMPTE RENDU

De nombreux intervenants se sont montrés convaincus qu'elle ne saurait faire partie des suites données au débat par l'État.

2. Le développement des nanotechnologies est « une affaire publique »

Cette conviction est partagée par l'ensemble des acteurs représentant dans ce débat la « société civile » (associations, syndicats, grand public), par des assemblées régionales, par des élus.

3. Le développement des nanotechnologies appelle donc, aux yeux de la « société civile », une gouvernance « moderne » dont les mots clé sont : transparence, participation et partage des responsabilités

En énonçant ses cinq « principes de la bonne gouvernance », la Commission européenne a fait sienne cette vision « moderne » de la gouvernance. On est également là très proche de l'esprit du Grenelle de l'environnement.

4. S'agissant du développement des nanotechnologies, les conditions d'une gouvernance moderne ne semblent pas aujourd'hui réunies

> De nombreux intervenants ont déploré l'opacité du système actuel de gouvernance des nanotechnologies, tant au plan national qu'au plan local.

> Si l'on excepte le moment privilégié qu'a été le Grenelle de l'environnement, la société civile a le sentiment de n'avoir eu que peu de prise sur les conditions de développement des nanotechnologies.

> S'agissant, enfin, de responsabilité, nombreux sont ceux qui considèrent la situation actuelle comme particulièrement floue : réglementation inadaptée aux nanotechnologies, difficulté d'appréciation des risques, partage indécis des responsabilités entre les entreprises et l'État, position des assurances...

5. La société civile est unanime pour demander à être associée à la gouvernance du développement des nanotechnologies.

Cette proposition trouve des échos favorables chez plusieurs représentants de l'administration

Parmi les arguments avancés : briser la « bulle technologique » qui exclut le citoyen, permettre l'émergence de choix collectifs assumés, maîtriser le risque d'un développement anarchique des applications.

6. Faut-il créer des instances consultatives aux niveaux national, régional, voire local, pour associer les différentes composantes de la société à la gouvernance des nanotechnologies ?

> La CPDP a émis un questionnaire sur le thème « éthique et gouvernance » qui a reçu 70 réponses très complètes. Les résultats en sont intéressants mais ne sauraient, évidemment avoir valeur de référendum.

En réponse à la question : « *Des acteurs ont souligné l'intérêt de la participation de représentants de la société civile à des instances de gouvernance et de contrôle du développement des nanotechnologies, qu'en pensez-vous ?* », seule une minorité n'est pas d'accord avec la participation des représentants de la société civile à des instances gouvernementales. Ils considèrent que c'est une affaire de spécialistes, principalement des chercheurs et des industriels, et que l'intervention des citoyens serait vécue comme inutile ou comme une sanction.

La majorité est favorable à cette participation et la trouve nécessaire, voire indispensable pour éviter notamment toute fracture avec le grand public.

> Cette instance aurait un rôle de veille et pourrait interpeller les instances institutionnelles. Elle aurait également une mission d'information du public. Pour ceux qui sont favorables à sa création, une telle instance, dont le statut n'a pas été vraiment discuté, devrait dans sa composition s'inspirer du principe de « la gouvernance à cinq » peut-être un peu élargie. Son champ de compétence resterait à préciser : les nanotechnologies au sens très large retenu dans ce débat ou un champ plus restreint ?

SYNTHÈSE DU COMPTE RENDU

> Des instances similaires pourraient également être envisagées au niveau régional, particulièrement dans les régions très concernées.

7. La bonne gouvernance au sein des entreprises et des professions doit rester une priorité

> Les entreprises ont d'abord un devoir d'information et de régulation interne, en particulier, pour assurer de manière participative une protection efficace des travailleurs. Les syndicats et d'autres ont rappelé l'importance des CHSCT.

> Les entreprises assument désormais la responsabilité des dommages éventuels provoqués par les produits qu'elles mettent sur le marché.

> Au-delà de l'action propre à chaque entreprise peuvent s'organiser des actions collectives : guides de bonnes pratiques, démarches volontaires de certification...

8. Les questions d'éthique ont fait l'objet de discussions approfondies

Les principes éthiques, dès lors qu'ils s'appliquent à une collectivité humaine bien identifiée (collectivité de chercheurs, entreprise,...), justifient une élaboration collective, en particulier au sein de comités d'éthique pluridisciplinaires. Il n'en demeure pas moins que certaines questions éthiques intéressant la collectivité nationale peuvent appeler l'intervention du législateur et le recours à des instances nationales d'éthique plus ou moins spécialisées.

9. La miniaturisation extrême de l'informatique et notamment des puces RFID qui pourrait résulter à relativement brève échéance de la nanoinformatique, a suscité de nombreuses interrogations

Quelles menaces pour les libertés individuelles ? De quels moyens devra disposer la CNIL pour les maîtriser ? Le législateur devra-t-il interdire certaines applications de ces puces invisibles ou presque ?

10. L'articulation de la gouvernance nationale en matière de nanotechnologies avec une

gouvernance européenne très prégnante, pose des problèmes délicats

La nécessité d'adapter la réglementation européenne et, tout particulièrement le règlement REACH, aux spécificités des nanomatériaux a été maintes fois soulignée au cours du débat.

La complexité et la lenteur des processus européens en matière de réglementation sont notoires. Faut-il dès lors se contenter de s'exprimer dans le cadre des instances européennes ou faut-il tenter d'anticiper des évolutions réglementaires prévisibles en prenant quelques risques en matière d'eurocompatibilité ? La question pourrait se poser dès la mise en œuvre de la disposition du projet de loi « Grenelle 2 » prévoyant l'enregistrement obligatoire des produits mis sur le marché contenant des nanoparticules.

11. L'insuffisance des financements publics consacrés aux recherches en nanotoxicologie et en nanoécotoxicologie a été dénoncée à une quasi-unanimité, y compris par certains représentants de l'administration

L'hypothèse d'un doublement des financements publics qui leurs sont consacrés a été évoquée. Certains ont objecté qu'une telle mesure aurait peu d'effet compte tenu de la pénurie actuelle de toxicologues en France. Cette objection a été contestée, voire réfutée, mais elle semble avoir trois mérites : à court terme, elle attire, peut-être, l'attention sur des problèmes d'organisation ; à moyen terme elle pose la question de la valorisation du métier de toxicologue ; à long terme elle met en évidence la nécessité d'intensifier la formation en toxicologie. Enfin, en matière de toxicologie, il ne faut pas sous-estimer les vertus d'une approche internationale.

12. La question de la métrologie apparaît également cruciale

C'est d'abord, évidemment, une nécessité pour fonder quantitativement la connaissance de l'exposition et donc améliorer et rationaliser les méthodes de prévention des risques. Mais il faut aussi noter que le marché mondial est porteur et que la France ne manque pas de TPE et PME innovantes capables d'y jouer un rôle pionnier.

SYNTHÈSE DU COMPTE RENDU

13. Les attentes sont fortes en matière de traçabilité et d'étiquetage

La mise en oeuvre, dès l'adoption de la loi Grenelle 2, du principe d'enregistrement des produits contenant des nanomatériaux permettra de progresser sur la voie de la traçabilité et de l'étiquetage. Les associations de consommateurs ont cependant souligné que l'étiquetage n'a pas de portée s'il n'y a pas transparence sur les tests préalables à la mise sur le marché.

14. Les études sur le cycle de vie et, particulièrement la fin de vie des nanomatériaux et des matériaux en contenant, devraient être poussées. Elles pourraient déboucher sur des dispositions spécifiques à prendre en matière de gestion et traitement des déchets industriels et domestiques.

15. Des demandes de moratoires ont été formulées

> par les Verts, s'agissant de la commercialisation de l'ensemble des produits contenant des nanoparticules, dans l'attente de la mise en place d'une autorisation européenne de mise sur le marché des nano-produits (AMMN)

> par France-Nature-Environnement, s'agissant de la mise sur le marché de certaines catégories de produits tant que la preuve de leur innocuité pour la santé et l'environnement n'aura pas été apportée.

16. Faut-il et, si oui, comment, renforcer le contrôle de l'État au moment de la mise sur le marché de nanoproduits ?

17. Les questions concernant l'organisation et l'indépendance de l'expertise ont été maintes fois évoquées

18. Comment mettre à la disposition du public une information transparente et de qualité ?

Quel que soit le dispositif retenu, le rôle des chercheurs est essentiel dans l'information du public. Ce n'est pas toujours un rôle facile mais tout au long de ce débat, nous avons rencontré des chercheurs ouverts au dialogue et parlant en termes clairs et compréhensibles par le plus grand nombre.

19. Poursuivre dans la continuité les débats et les concertations.

L'accord est unanime, au moins au sein de la société civile, sur le fait que le débat public n'est qu'une étape et qu'il doit être prolongé sur la durée par des débats et des concertations revêtant d'autres formes. Sans doute y aura-t-il lieu, pour assurer l'efficacité de cette démarche, d'expérimenter puis de mettre en oeuvre des méthodes innovantes.

20. La question de l'intégration des problématiques nano dans les différents cycles de formation n'a été qu'effleurée mais sa grande importance a bien été identifiée.

Encadré 1

LA CHRONOLOGIE DU DÉBAT	
23 février 2009	Huit ministres ou secrétaire d'Etat adressant une lettre de saisine à la Commission nationale du débat public (CNDP) lui demandant d'organiser un débat public sur « les options générales en matière de développement et de régulation des nanotechnologies » (voir Annexe 1).
3 mars 2009	La CNDP décide d'organiser le débat et de créer à cette fin une commission particulière du débat public (CPDP) dont elle confie la présidence à Jean Burgugnoz, membre de la CNDP.
mai 2009	La CPDP commence ses consultations préalables. La plupart se concrétiseront par la rédaction de cahiers d'acteur (voir page 16).
3 sept. 2009	La CNDP considère que le dossier d'initialisation du débat constitué du dossier établi par le maître d'ouvrage, de la synthèse des travaux du Nanoforum du CNAM et d'un document intitulé « le débat, mode d'emploi » émanant de la CPDP, est « suffisamment complet » pour permettre l'engagement du débat. Elle approuve les propositions d'organisation et de calendrier présentées par la CPDP.
23 sept. 2009	Une conférence de presse conjointe des présidents de la CNDP et de la CPDP et tenue en présence du Ministre d'Etat, chargé du Développement durable et de la secrétaire d'Etat, chargée de l'Environnement, annonce l'ouverture prochaine du débat, son calendrier et ses principales modalités d'organisation. Simultanément, le site Internet de la CPDP (www.debatpublic-nano.org) est ouvert en lecture seule pour permettre la consultation des documents de base du débat. Le dossier de presse est diffusé à 3.400 journalistes.
15 oct. 2009	Le débat public est ouvert lors de la première réunion publique tenue à Strasbourg. Simultanément, le site Internet de la CPDP peut commencer à recevoir les questions, avis et contributions des internautes.
23 février 2010	Réunion de clôture à Paris
24 février 2010	À minuit, le débat est clos. Le site Internet restera ouvert, en lecture seule, durant 4 ans.
13 avril 2010	Le compte rendu du débat établi par la CPDP et le bilan du débat établi par le président de la CNDP sont rendus publics.

Encadré 2

PROGRAMME FINAL DES RÉUNIONS DU DÉBAT PUBLIC SUR LES NANOTECHNOLOGIES		
Ville	Date	Thème(s) programmé(s)
STRASBOURG	15 octobre 2009	Gouvernance européenne
TOULOUSE	20 octobre 2009	Applications médicales Nanotechnologies et protection de l'environnement
ORLEANS	27 octobre 2009	Cosmétologie Nanotechnologies et protection des consommateurs
BORDEAUX	3 novembre 2009	Process industriels Nanotechnologies et protection des travailleurs
CLERMONT-FERRAND	10 novembre 2009	Nanoparticules et pollution atmosphérique
LILLE	17 novembre 2009	Nanotechnologies et textile
BESANÇON	24 novembre 2009	Nanotechnologies et compétitivité
GRENOBLE	1 ^{er} décembre 2009	Informatique et libertés individuelles Nano-médecine
CAEN	10 décembre 2009	Matériaux de construction et applications multi-usages
METZ	15 décembre 2009	Habitat et énergie
RENNES	5 janvier 2010	Nanotechnologie et Sécurité alimentaire
LYON	14 janvier 2010	Applications médicales Etudes sur la toxicité
MARSEILLE	19 janvier 2010	Sécurité intérieure et défense nationale
ORSAY	26 janvier 2010	Recherche et développement industriel Convergences NBIC
PARIS	9 février 2010	Atelier-débat Éthique et gouvernance
PARIS	16 février 2010	Atelier-débat Éthique et gouvernance
PARIS	23 février 2010	Réunion de clôture

LISTE DES CAHIERS D'ACTEUR

- | | |
|---|--|
| 1. Académie des Sciences | 26. Conseil régional d'Ile-de-France |
| 2. Académie des Technologies | 27. EPE |
| 3. Académie nationale de médecine | 28. Familles Rurales |
| 4. Académie nationale de pharmacie | 29. FEBEA |
| 5. AFOC | 30. FIDEA |
| 6. AFNOR | 31. Fonam Mondial Sciences et Démocratie |
| 7. AFSSA | 32. Fondation Sciences Citoyennes |
| 8. AFSSET | 33. Force Ouvrière |
| 9. Les Amis de la Terre | 34. France Nature Environnement |
| 10. ANIA | 35. INC |
| 11. APPA | 36. INERIS |
| 12. Association Française Transhumaniste | 37. INDECOSA-CGT |
| 13. Association Sciences et Démocratie | 38. INRS |
| 14. CESE | 39. INSERM |
| 15. CESR Bretagne | 40. IReSP |
| 16. CESR Franche-Comté | 41. INRIA |
| 17. CESR Rhône-Alpes | 42. Leem |
| 18. CFE - CGC | 43. MEDEF |
| 19. CFDT | 44. ORDIMIP |
| 20. CFTC | 45. SEPANSO |
| 21. CLCV | 46. SITELESC |
| 22. CNIL | 47. SFSP |
| 23. CNRS - CEA | 48. UIC |
| 24. Collectif sur les Enjeux
des Nanotechnologies à Grenoble | 49. UNSA |
| 25. Conseil National des Ingénieurs et
des Scientifiques de France | 50. LES VERTS |
| | 51. Vivagora |

Encadré 3

LES CHIFFRES CLÉ DU DÉBAT AU 31 MARS 2009	
Nombre de visites du site depuis le 23 septembre 2009 : 195 429	Nombre de participants aux réunions : 3 216
Cahiers d'acteurs publiés : 51	Nombre de pages de verbatim : 902
Nombre de questions : 661	Retombées « médias » : 1 175
Nombre d'avis : 263	TV/radio : 132
Nombre de contributions : 75	Presse : 555
Nombre d'abonnés à la newsletter : 590	Web : 488