

COMPTE RENDU INTEGRAL DE LA COMMISSION PARTICULIERE DU DEBAT PUBLIC A BORDEAUX

Mardi 3 novembre 2009

Programme :

Séquence 1 : Nanotechnologies et protection des travailleurs
Animateur : Jean Bergougnoux, président de la CPDP

Avec la participation de Daniel BERNARD (ARKEMA), Patrick BROCHARD (Université Bordeaux II), Serge LOPEZ (Directeur régional du travail de l'emploi et de la formation professionnelle), Pierre-Yves MONTELEON (CFTC), Simon CHARBONNEAU (FNE, juriste)

1

Séquence 2 : Des nanosciences aux nanotechnologies
Animateur : Isabelle Jarry, membre de la CPDP

Avec la participation de Cécile ZAKRI (centre de recherche Paul Pascal), Philippe POULIN (centre de recherche Paul Pascal), David JACOB (Cordouan technologies), Etienne DUGUET (CNRS/ICMCB)



Le débat est ouvert à 19 heures 34 sous la présidence de Jean BERGOUGNOUX.

M. BERGOUGNOUX. - Bonsoir à tous. Je dirai quelques mots d'introduction avant que nous n'entrons dans le vif du sujet.

Je m'appelle Jean BERGOUGNOUX. Je préside la Commission particulière du Débat public chargée d'organiser ce débat national sur les nanotechnologies.

Près de moi, Isabelle JARRY, membre de la Commission particulière du Débat public, animera la deuxième séquence de cette soirée.

Cette rencontre à Bordeaux est la quatrième d'une série de 17 réunions. Il s'agit donc d'un débat au long cours qui nous mènera dans différentes régions de France, partout où des activités sont liées aux nanosciences ou aux nanotechnologies.

La première réunion s'est tenue le 15 octobre à Strasbourg ; elle a été centrée - comme il est naturel à Strasbourg - sur la question de la gouvernance européenne et son interférence avec ce que nous pouvons décider de notre propre chef en France.

La deuxième réunion a eu lieu à Toulouse et a permis de parler des applications médicales des nanotechnologies, ainsi que d'une question difficile, qui est le cycle de vie des nanomatériaux (jusque et y compris à la déchetterie) et son impact sur l'environnement.

La troisième réunion a eu lieu la semaine dernière à Orléans et a permis, en partant de l'exemple très instructif de la cosmétologie, de poser la problématique de la protection du consommateur.

L'ensemble de ces réunions a rassemblé à peu près de 900 personnes.

Il est tout de même important de noter que, parallèlement à ces réunions publiques qui sont la face la plus visible du débat, le site Internet que nous avons créé (www.debatpublic-nano.org) fonctionne plutôt bien, puisque nous totalisons déjà 28 000 visites, 144 000 pages consultées, plus de 60 avis déposés et 220 questions. Ces questions auront toutes une réponse, la CPDP s'y engage.

Je rappellerai que ce débat a été décidé par la Commission nationale du Débat public, autorité indépendante chargée d'organiser les débats publics en France à la demande de sept ministères directement concernés par le développement des nanotechnologies, leurs avantages et les interrogations qu'elles posent, qui ont été résumés dans le film que vous venez de voir.

A partir du moment où la Commission nationale du débat public a décidé d'organiser le débat et a créé une commission particulière pour l'animer, il importe d'avoir bien conscience que nous, Commission particulière, agissons en



toute indépendance par rapport au commanditaire du débat, que j'appellerai pour plus de commodité le «maître d'ouvrage».

Nos objectifs sont clairs : il s'agit d'informer un public aussi large que possible des problématiques complexes des nanotechnologies, d'écouter ce que ce public a à dire, d'écouter ses attentes et aussi ses inquiétudes, ses préoccupations et, enfin, de rendre compte objectivement de tous les arguments échangés pendant le débat.

Ce rapport, qui sera établi dans les deux mois qui suivent la dernière réunion qui aura lieu à Paris le 23 février 2010, sera public et sera bien entendu remis aux ministres qui ont demandé le débat. Dans les trois mois suivants, ceux-ci diront les suites qu'ils comptent donner au débat et les orientations qu'ils en tirent dans différents domaines. Vous avez vu que Jean-Louis BORLOO s'est formellement engagé, en disant : «Je suis à votre écoute et nous tiendrons compte de tout ce qui aura été dit».

Au-delà des ministres commanditaires, les arguments échangés pourront être aussi très utiles aux chercheurs, aux entreprises, aux associations et peut-être même aux simples citoyens qui, ayant suivi ce débat, se seront dit : «Voilà un sujet important qui vaut la peine d'être vigilant et je vais le suivre».

Comment le débat se passe-t-il ? J'ai déjà évoqué les 17 réunions publiques - dont Bordeaux est la quatrième -, le site Internet et les conclusions qui en seront tirées. Les moyens d'information mis à la disposition du public - puisque tel est notre principal devoir - consistent en :

- un dossier d'initialisation, qui a été mis dès le 23 septembre sur le site Internet ; vous l'avez trouvé sur les tables à l'entrée.
- un gros document, que l'on appelle traditionnellement le dossier du maître d'ouvrage et qui comprend 120 pages à peu près. Il a été souhaité à la fois pédagogique et scientifiquement exact et également équilibré entre les potentialités du développement des nanotechnologies et les risques qu'elles peuvent comporter. On l'a voulu également très ouvert sur des problématiques très larges de société, d'équilibre géopolitique, etc. Ce sont les ministères commanditaires qui ont rédigé ce dossier sous l'œil vigilant de la Commission particulière, laquelle a soigneusement veillé à ce qu'il réponde aux différents critères. Ce dossier a été approuvé par la Commission nationale.

Nous l'avons cependant complété par une synthèse des travaux du Nanoforum du CNAM. Il s'agissait cette fois-ci de réunions essentiellement entre personnes connaissant bien les problématiques des nanotechnologies, mais c'est un travail collectif qu'il nous a semblé important de porter également à la connaissance du public.



➤ un modeste opuscule émanant de la Commission particulière du débat public, expliquant comment on participe à ce débat.

Concernant ce dernier point, sachez que, lorsque vous êtes en réunion publique, vous pouvez poser des questions, émettre des avis, apporter des contributions au débat. Vous pouvez poser ces questions par écrit grâce aux petites fiches qui vous ont été données. Cela vous donne une garantie qu'elles figureront sur le site Internet et que la réponse vous sera apportée avec tout le sérieux nécessaire. Les questions orales sont également les bienvenues, pour que le débat soit vivant.

Ensuite, sur le site Internet, vous pouvez écrire, apporter des contributions, poser des questions, etc. Il fonctionnera de façon interactive, même si un délai de quelques jours est nécessaire pour que le maître d'ouvrage, notamment, apporte des réponses bien étoffées.

Le dernier point que je voulais évoquer est l'organisation de la réunion de ce soir. Elle sera composée de deux séquences :

➤ la première séquence sera consacrée à la protection des travailleurs en matière de nanotechnologies,

➤ la seconde séquence, qui s'intitule «Des nanosciences aux nanotechnologies», essaiera de montrer comment il est possible de passer de la réflexion scientifique à des applications intéressantes, notamment par l'intermédiaire d'entreprises - souvent petites - innovantes.

Nanotechnologies et protection des travailleurs

Voilà ce que je voulais dire en introduction ; j'appelle à présent les panélistes de la première séquence : Simon CHARBONNEAU (FNE, juriste), Daniel BERNARD (directeur scientifique d'ARKEMA), Patrick BROCHARD (Université Bordeaux II), Serge LOPEZ (Directeur régional du travail, de l'emploi et de la formation professionnelle) et Pierre-Yves MONTELEON (représentant la CFTC).

Au-delà de ces panélistes, sont présents dans la salle des experts, des représentants du maître d'ouvrage, d'autres personnes qui ont souhaité prendre la parole, comme la CFTC, par exemple. Elle ne sera pas seule, d'autres organisations syndicales parleront. Bien entendu, l'objectif essentiel est de répondre aux attentes du public, aux questions que vous vous posez.

Un thème permettra de traiter assez largement la question des dangers et des risques des nanotechnologies, en partant d'un exemple qui s'impose localement : les nanotubes de carbone. Cela dit, nous pourrons déborder



quelque peu si vous le souhaitez. Vous pouvez poser des questions qui ne sont pas strictement dans le thème ; on s'efforcera d'apporter des éléments de réponse et ces questions seront approfondies en temps utile dans d'autres réunions publiques et sur le site Internet.

A présent, je donne la parole à Simon CHARBONNEAU, dont je ne sais plus s'il parle au nom de France Nature Environnement ou...

M. CHARBONNEAU. - Il faut savoir que je parle au nom de la SEPANSO, qui est membre de FNE, mais les positions de la SEPANSO ne sont pas les mêmes que celles de la FNE, sur ce sujet comme sur d'autres.

Pour aborder la question, je partirai des principes posés par la Charte constitutionnelle de l'environnement, article 7 (information et participation du public) et article 5 (principes de précaution), que l'on applique de manière très précautionneuse. Ces deux principes sont applicables au Code du Travail ; ce n'est pas simplement le Code de l'Environnement, c'est très important.

Concernant le débat public, au regard de ces principes, il y a eu des précédents : ce sont les débats publics sur les projets nucléaires d'EPR et d'ITER. Ils ont en commun le fait d'être des débats publics *a posteriori*, sur un fait accompli.

Il faut savoir que ce n'est pas du tout conforme à la loi ni au principe constitutionnel, puisque le débat public doit avoir lieu avant toute prise de décision. Or, je rappellerai qu'il y a eu des financements, en particulier des financements publics... J'aurai une question à poser à ARKEMA à ce propos. Je voudrais savoir la proportion des financements consacrés au développement de ces technologies et de ceux consacrés à l'évaluation préliminaire des risques. Le dossier ne comprend aucune indication de ce côté... Je crains qu'il n'y ait une certaine disproportion concernant ces financements.

5

Sur le fond même du problème, je le résumerai en disant que la boîte de Pandore est ouverte et que l'on n'a tiré aucune leçon des expériences du passé en matière de crises environnementales et sanitaires engendrées par la dissémination de molécules chimiques. Il y a un mode de fonctionnement social qui, combiné avec de la technologie, peut aboutir à des situations de crise majeure.

Comme nous assistons à une avancée considérable concernant ces innovations technologiques, les prises de risques sont majeures et, à mon avis, les réponses envisagées ne sont pas à la hauteur du problème, en particulier compte tenu de la rapidité du processus de développement.

On ne peut pas prétendre réguler avec un processus extrêmement rapide. Il faut que les chercheurs et les industriels acceptent qu'il y ait un frein à ce processus. Si l'on veut foncer comme avant, comme pendant les Trente Glorieuses, on va créer des situations irréversibles qui pourront être gravissimes pour la santé publique comme pour l'environnement. A mon avis, il y a une contradiction



complète entre, d'une part, le fait de favoriser le développement accéléré de ces technologies et, d'autre part, le fait de prétendre les maîtriser. De ce côté-là, le conflit est insurmontable. Nous devrions retenir les leçons du passé, mais nous ne le faisons pas.

La prise de risques est majeure et elle est socialement et politiquement inacceptable. Ces questions ne sont pas seulement techniques, mais également sociopolitiques. C'est la raison pour laquelle il y a un débat public, mais c'est un débat public *a posteriori* : là est le problème.

Ma conclusion, puisqu'il faut être bref, paraît-il, est que l'on ne peut qu'envisager un moratoire et on ne va pas en mourir, s'il y en a un. En revanche, si l'on continue à foncer tête baissée, on aura des surprises absolument énormes. C'est ce que l'on appelle la logique de l'imprévisibilité des processus de développements techniques accélérés, tels que l'a analysé ici il y a cinquante ans déjà un de mes maîtres, Jacques ELULL, un sociologue bordelais, très connu à l'étranger.

(Applaudissements.)

M. BERGOUGNOUX. - Merci, Monsieur CHARBONNEAU. Quelqu'un dans la salle souhaite-t-il aller dans le sens de M. CHARBONNEAU ou, au contraire, dire qu'il considère que ce débat public est nécessaire ? Vous avez la parole, Monsieur...

M. BLANC. - Je m'appelle Alain BLANC. Je pense que ce débat, à partir du moment où il s'agit d'un débat public national, n'a pas grand sens. A Bordeaux on discute de cela et à Strasbourg on discute d'autre chose, mais l'information ne passe pas, de façon générale. Or, si l'on veut que ce soit un débat public, il faut que dans chaque ville il y ait un débat sérieux.

6

Au sein du milieu associatif, il y a eu beaucoup de débats pour savoir s'il fallait y participer ou pas. Finalement, un certain nombre de personnes sont présentes, mais selon moi, ce débat public - comme les précédents qui ont eu lieu à Bordeaux - est un simulacre de débat. On aurait beaucoup à dire à Bordeaux sur les débats publics, mais nous n'allons pas énumérer tous ceux qui sont passés et qui ont été ratés... Nous n'espérons pas que celui-là réponde à la problématique des nanotechnologies puisque, comme l'a dit Simon CHARBONNEAU, ce débat est lancé alors que des centaines de produits nous sont déjà proposés sans qu'on le sache et qu'ils sont bourrés de nanotechnologies...

(Applaudissements.)

M. BERGOUGNOUX. - Merci. Y a-t-il une autre intervention ?

M. AIMÉ. - Je suis Jean-Pierre AIMÉ, Directeur du C'Nano Grand Sud-Ouest (GSO), un réseau qui a pour vocation de développer les nanosciences et nanotechnologies (en tant que chercheur).

Votre intervention présente deux aspects :



- l'aspect juridique, la notion de débat public postérieur,
- l'aspect moratoire, qui me surprend beaucoup, concernant le développement des connaissances et des nanosciences.

Dans le domaine des sciences, les nanosciences ne sont qu'une partie du développement. Elles ont commencé dans les années 1980, c'est-à-dire il y a près de trente ans.

Du point de vue de la recherche, c'est un développement naturel dans lequel vous pouvez dire que, tout compte fait, faire de la recherche et du développement des connaissances, nécessite un moratoire. Concernant le développement de la connaissance, avoir un moratoire n'est pas trivial. Je pourrais faire une métaphore sur ce point... On ne voit pas comment, dans le domaine des nanosciences, on pourrait la bloquer en tant que recherche.

Lorsque vous parlez de l'environnement, par exemple, l'ensemble des connaissances qui se développent à l'échelle nanométrique (à l'échelle des petits objets) permet aussi d'améliorer les cycles de vie. Elles apportent aussi de l'information sur la façon dont on vit dans notre environnement.

Je comprends assez bien les problèmes de régulation, mais dans le développement de la recherche elle-même (y compris en matière de nanotechnologies), il y a aussi celui des connaissances, qui permet d'appréhender beaucoup mieux le milieu dans lequel on vit. Ainsi, comme on le comprend beaucoup mieux, on donne des éléments d'information, qui permettent ensuite de trouver les bonnes régulations.

7

Cela dit, lorsque l'on développe une recherche notamment dans un laboratoire, si l'on savait tout ce à quoi on arriverait, on ne la ferait pas... Dans le domaine des nanosciences, concernant les inquiétudes que vous avez, en définitive et sans être vraiment optimiste, on crée également les situations qui permettent de trouver des solutions qui n'apparaîtraient pas, ne serait-ce que par exemple dans les années 1980, où l'on n'avait pas encore développé les outils pour étudier les nano-objets.

M. JANIN. - Jean-Louis JANIN, ingénieur retraité de la fonction publique. Franchement, je ne suis pas du tout d'accord avec ce qui a été dit. J'aime beaucoup Jacques ELULL, mais il est mort il y a dix ou quinze ans...

S'il n'y a pas de débat, il n'est pas possible de poser des questions. Je suis venu ici pour en poser. En particulier, je voudrais savoir si les ingénieurs savent un peu plus que ce que j'ai pu apprendre il y a quarante ans sur les équations de Schrödinger, puisque je crois que l'on est dans le domaine de la mécanique quantique lorsque l'on est dans les nanotechnologies. Je n'aimerais pas que l'on joue au docteur Folamour dans ce domaine.

M. BERGOUGNOUX. - Je vous remercie...



M. LABRE. - Je suis Jean-Claude LABRE (?), citoyen. Concernant les chercheurs, entre autres dans les laboratoires, quelles sont les organisations concernant la protection de ces personnes ? Quelle est la traçabilité, de leur origine jusqu'à leur élimination, des produits des laboratoires ? Quel retour d'expérience avons-nous depuis trente ans dans ce domaine ? Je parle de l'homme au travail et aussi du devenir. J'attends volontiers une réponse.

M. BERGOUGNOUX. - Vous aurez sûrement des éléments de réponse, mais nous pouvons peut-être essayer de répondre à la question très précise que vous posez concernant la protection des chercheurs et la traçabilité des produits. Le docteur Daniel BLOCH va prendre la parole.

Dr BLOCH. - Je vous remercie. J'ai préparé deux ou trois diapositives pour illustrer mes propos. Je suis médecin du travail au CEA depuis 1987. Je suis à Grenoble et j'ai vu ce centre se développer petit à petit dans le domaine des nanotechnologies. Je suis actuellement le conseiller médical du CEA pour les questions de nanomatériaux.

Je vais vous expliquer très simplement la façon dont est pris en compte ce risque pour les chercheurs qui travaillent dans des établissements.

(Projection)

Sur cette diapositive, vous voyez ici très schématiquement les grandes actions que nous avons mises en place sur l'ensemble de nos établissements.

8

Premièrement, il s'agit de recenser les personnels et les postes susceptibles d'être exposés à des nanoparticules. En effet, le risque réside bien dans les nanoparticules et non dans les nanotechnologies dans leur ensemble.

En procédant à ce recensement, on s'aperçoit que, dans nos établissements de recherche, à peu près 10 % de personnes sont potentiellement exposées aux nanoparticules, alors qu'un bien plus grand nombre travaille dans les nanotechnologies. La première étape consiste donc à identifier les postes et personnes présentant un risque réel d'exposition.

Deuxièmement, nous avons passé en revue tous les postes de travail les uns après les autres. Nous avons réalisé une évaluation qualitative des risques potentiels d'exposition à ces nanoparticules, en prenant des paramètres relativement simples à apprécier, tels que les quantités de matériaux que l'on va mettre en œuvre, la façon dont ce sera fait. Est-ce que ce seront des poudres sèches ou en solution ? Est-ce que ce seront des poudres qui seront incluses dans des matrices ou fixées sur des supports ? Tous ces paramètres sont très importants pour apprécier le risque d'exposition des personnes.

Ensuite, suite à ces analyses, ont été mis en place des moyens de protection de façon proportionnée, en fonction des risques tels qu'ils ont été évalués. Notre objectif est de faire en sorte que les personnels ne soient pas exposés du tout.



Ces moyens de protection sont plus ou moins contraignants, en fonction des résultats de cette analyse qualitative. Il peut s'agir de simples « aspirations » aux postes de travail, de hottes ventilées, de boîtes à gants (cette fois-ci, il s'agit donc d'un confinement total). En dernier recours, on peut équiper les personnes d'appareils de protection respiratoire individuels.

Nous avons donc une démarche de prévention *a priori* : il s'agit de faire de la prévention *a priori*, avec des moyens proportionnés à l'évaluation des risques, telle que l'on a pu la faire de façon qualitative.

L'étape suivante consiste à vérifier que tout cela est efficace. C'est ce que nous sommes en train de développer maintenant. Nous allons effectuer des mesures aux postes de travail, pour savoir si l'on retrouve ces nanoparticules dans les ambiances de travail.

Nous avons également mis en place un guide de bonnes pratiques, ainsi qu'une formation spécifique pour le personnel.

Pour répondre à la question concernant la traçabilité des expositions, nous l'avons organisée de la manière suivante. Pour chaque salarié, une fiche décrit les conditions dans lesquelles celui-ci pourrait être éventuellement exposé à des nanoparticules. Cette fiche sera incluse dans le dossier médical, pour que dans dix, vingt ou trente ans, on puisse retrouver ces données objectives si nécessaire.

M. BERGOUGNOUX. - Je vous remercie. Je crois que M. CHARBONNEAU voulait répondre...

M. CHARBONNEAU. - Il faut arrêter de présenter toujours la recherche comme des chercheurs travaillant dans une bulle. Ils sont financés par l'industrie en grande partie, par les pouvoirs publics également. Surtout, le passage de l'état de la recherche à celui de production industrielle est de plus en plus rapide.

La recherche n'est pas innocente. Il peut y avoir des recherches utiles, j'en conviens, mais je demande justement quelle est la proportion des financements consacrés au développement des nanotechnologies et, d'autre part, la proportion des recherches consacrées à la toxicologie d'une manière générale et à l'évaluation des risques. De ce côté-là, il n'y a pas eu de réponse.

M. BERGOUGNOUX. - Sur ce point, je crois que Catherine LARRIEU va vous donner quelques éléments.

Mme LARRIEU. - Bonjour, je suis représentante du ministère du Développement durable, donc «maître d'ouvrage» comme le disait Jean BERGOUGNOUX, l'Etat ayant souhaité que ce débat soit organisé et puisse se tenir.

Par rapport au rythme, il n'est pas possible de répondre de manière statique à la question des nanotechnologies. Certains développements sont très



rapides en matière de recherche, de recherche appliquée et, ensuite, en matière de passage de ces recherches dans des produits ou des procédés industrialisés.

Nos modes d'étude et de décisions classiques – je rejoins tout à fait M. CHARBONNEAU – sont plus lents que ces développements de recherche et de technologie. Nous avons des modes de travail normaux (classiques, en tout cas) sur ces questions : la recherche, puis la recherche sur les risques, puis l'adaptation d'éventuelles réglementations, de dispositifs de régulation et de recherche complémentaire, puis une information du public et, enfin, des conséquences sur l'autorisation ou non de mise sur le marché.

Nous voyons bien que nous avons là un rythme plus rapide en termes de développement technologique (pas seulement en France, mais aussi au niveau international) que cette étape très séquentielle.

C'est pour cette raison que nous avons demandé à la Commission nationale d'engager ce débat public. Par rapport à la nouveauté de ce type de questions, nous avons absolument besoin de mener de front la poursuite de développements de recherche et de développements technologiques sur des applications où, de toute évidence, les gains sont importants à la fois pour les entreprises mais aussi pour la satisfaction d'un certain nombre de besoins médicaux, énergétiques, etc.

De ce point de vue, l'Etat *a priori* - sauf s'il ressortait autre chose du débat - n'a pas prévu pour l'instant de ralentir ces développements, mais bien de les accélérer.

10

Par ailleurs, un travail en parallèle est mené sur l'évolution de l'information et de la réglementation. Le Grenelle de l'Environnement a bien posé les bases de ces besoins. Il n'a pas appelé à un moratoire, mais à une meilleure information ; en parallèle, il a appelé à l'organisation de ce débat.

Concernant la question très précise de la répartition entre recherche applicative, recherche fondamentale et recherche sur les risques, pour l'instant la recherche sur les risques est beaucoup plus petite que les autres, c'est évident. Elle est moindre en France par rapport au niveau européen (la part relative est plus petite) et l'un des objectifs est notamment d'augmenter cette part de recherche sur les risques.

M. BERGOUGNOUX. - N'anticipons pas sur les conclusions que pourront tirer les ministres de ce débat, mais le problème a effectivement bien été posé.

M. FRASCA. - Mon nom est Eric FRASCA. Je représente la fédération Chimie de la CGT. Que les chercheurs cherchent, nous pouvons le comprendre... On peut imaginer qu'ils soient en mesure de se protéger contre les risques qu'ils génèrent en cherchant. Cela dit, comment faire pour protéger les travailleurs contre des risques que l'on ne connaît pas et que l'on ne maîtrise pas ?



Le Code du Travail précise qu'il faut d'abord prévoir une protection collective avant la protection individuelle. Or, comment protéger les salariés contre des nanotubes de carbone, par exemple, qui vont envahir nos installations et vectoriser tous les polluants qu'il peut y avoir dans nos installations ? Comment se protéger contre tout cela, contre un risque qui n'est absolument pas apprécié ?

Selon certains, en ce qui concerne les nanotubes de carbone, on peut en boire et en manger... Cela dit, quand on cherche un peu sur Internet, par exemple, on se rend compte qu'il y a, d'une part, la prose du fabricant qui dit que tout va bien et, d'autre part, la voix de ceux qui disent qu'il y a peut-être beaucoup à regarder...

Le Code du Travail le précise bien, mais comment protéger les salariés contre des risques qui ne sont pas du tout évalués ?

M. BERGOUGNOUX. - C'est exactement le thème du débat auquel nous allons venir. Ce sera la toute dernière intervention préliminaire ; après, vous aurez l'occasion de poser d'autres questions en cours de route.

M. GOEPFERT. - Je suis Christophe GOEPFERT, Directeur de CILAS, Compagnie industrielle des Lasers. J'ai quelques informations permettant de répondre à monsieur concernant la part d'investissements dans la sécurité, mais aux Etats-Unis.

J'ai vu récemment qu'aux Etats-Unis, sur un programme de 1,6 milliards de dollars d'investissements dans le domaine des nanotechnologies, 85 millions de dollars sont consacrés aux études de toxicité. Cela n'inclut pas toutes les recherches sur les équipements liés à la sécurité ni les développements sur la protection des travailleurs. Je pense qu'en cumulant l'ensemble, on arrive à environ 10 à 15 % du montant total des activités de R&D dans les nanotechnologies.

Concernant l'exposition des travailleurs, je serai rapide sur ce point : des développements, au travers de projets européens et de projets franco-français portant sur des équipements, permettraient de protéger les opérateurs.

Pour l'instant, le seul moyen de protéger les travailleurs est d'appliquer le principe de précaution qui est dans la Constitution française et qui consiste à les isoler complètement des nanoparticules. Le risque, c'est un produit entre l'exposition et le danger ; si l'on annule l'un des facteurs, on annule quasiment le risque. Il faut donc empêcher l'exposition des travailleurs.

Pour cela, comme je l'ai dit, des moyens sont développés au travers de projets qui consistent :

- à développer des moyens pour automatiser les process, ce qui évite les manipulations à toutes les étapes du processus de fabrication,



- à développer des moyens de protection individuelle par des systèmes de badges qui mesureraient l'exposition - s'il devait y en avoir une - pendant les manipulations à différentes étapes,
- à développer des équipements qui permettraient de détecter les nanoparticules dans l'air pouvant résulter de fuites éventuelles durant les processus industriels.

M. BERGOUGNOUX. - Je vous remercie. Nous allons parler de tout cela. Avant de passer la parole à Daniel BERNARD, je voudrais répondre à une intervention concernant l'organisation même de ce débat.

Ce débat est un processus qui va s'étendre sur quatre mois ; il ne s'arrête pas à la réunion de Bordeaux, pas plus qu'il ne s'est arrêté à Toulouse. Je vous invite par conséquent à le suivre ; vous aurez régulièrement des comptes-rendus synthétiques de toutes les réunions et vous aurez même la possibilité d'aller beaucoup plus loin, si vous voulez voir au mot à mot tout ce qui a été dit, à travers ce que l'on appelle un verbatim.

Il faut considérer l'ampleur du sujet dont nous avons à débattre. Lorsque l'on parle de nanotechnologies, le sujet est extraordinairement vaste, tant les applications peuvent être multiples, présenter des caractéristiques différentes, des problématiques différentes de risques et il y a une multitude de points à traiter. Il n'était pas pensable de tenir 17 réunions identiques balayant superficiellement tous les sujets.

12

En revanche, l'échange que nous venons d'avoir en est la preuve : lorsque l'on a à traiter un sujet particulier – en l'occurrence, la protection des travailleurs, un sujet particulièrement important qui met bien en valeur les risques et la manière de les maîtriser –, il n'est nullement interdit de poser des questions que je qualifierai de collatérales. C'est ce que nous allons tenter de faire ensemble ce soir, si vous le voulez bien.

Je vous invite à suivre ce débat dans la continuité. Vous verrez que chacune des réunions, outre des enseignements très généraux, sera riche d'enseignements sur des points particuliers importants.

Dans la salle. - Comment font ceux qui n'ont pas Internet ?

M. BERGOUGNOUX. - Ils peuvent se procurer tous les documents. Ils ont en particulier la possibilité de s'abonner à la lettre du débat, qui fait le point périodique sur le déroulement du débat et qui peut être consultée soit sur Internet, soit sous forme de document papier.

Daniel BERNARD, puisque nous avons commencé à parler de nanotubes de carbone, il faut nous expliquer de quoi il s'agit, comment cela se produit, à quoi cela sert. Quelles précautions prenez-vous chez vous ?

M. BERNARD. - Merci, Monsieur le Président. Bonsoir à toutes et à tous.



J'ai déjà assisté à certains débats précédents et je voudrais préciser un point préliminaire afin que tout le monde comprenne bien. Nanosciences et nanotechnologies ne sont pas une nouvelle discipline. Elles sont une discipline transversale, qui impacte toutes les connaissances et toutes les disciplines que l'on connaît, au niveau scientifique ou technologique. Ce n'est donc pas une discipline que l'on rajoute : elle est transversale et touchera à tous nos domaines d'activités, que ce soit la chimie, la mécanique, la physique, la santé et autres.

Il est important d'en être conscient. En parlant de nanotechnologies et de nanosciences en général, on a parfois tendance à manquer d'exemples. Le fait de parler aujourd'hui de nanotubes de carbone va être le moyen de parler sur un exemple concret, depuis la recherche jusqu'à un début de préindustrialisation.

Les termes «nanotubes de carbone» fascinent et posent question. Je n'ai jamais entrepris une discussion ou un échange avec qui que ce soit pour parler de nanotechnologies, sans qu'au bout de quelques minutes – et parfois quelques dizaines de secondes ! – l'expression «nanotube de carbone» ne soit avancée. Vous voyez donc que c'est un exemple qui nous servira ici.

L'expression «nanotubes de carbone» comprend les mots «nanotubes» et «carbone». Le carbone est assez banal : la chimie organique repose sur la chimie du carbone, la biochimie également. Tout ce qui est vie, faune et flore, repose sur la chimie du carbone. Le carbone n'a donc vraiment rien d'original ; c'est un élément-clé de la vie et aussi de toute la chimie de notre planète. On n'arrête pas de parler du dégagement de CO₂, donc de l'effet de serre : c'est encore ce pauvre carbone qui est mis en cause. C'est très clair : la chimie du carbone est au centre de notre vie et les nanotubes sont un élément qui vient se rajouter à cela.

Le fait que le débat public sur les nanotubes de carbone se déroule à Bordeaux et en Aquitaine est selon moi légitime et mérité. En effet, la communauté tant scientifique qu'industrielle d'Aquitaine et de la région bordelaise en particulier est partie prenante dans ce domaine et ce, depuis une dizaine d'années (je me souviens d'une réunion qui s'était tenue sur ce sujet avec le CRPP il y a quelques années). Il y a donc une légitimité pour parler de nanotubes de carbone en Aquitaine.

(Projection)

Le carbone est le sixième élément dans le tableau de classification. On rencontre fréquemment – parfois, on voudrait le rencontrer plus souvent - le carbone sous deux formes élémentaires.

La première forme, la plus glorieuse, est le diamant. C'est peut-être celle après laquelle on court le plus, mais qui est la plus rare à trouver. Dans ce cas, le carbone a une structure tétraédrique (il n'y a que des atomes de carbone sur des tétraèdres). Le diamant est un minéral extrêmement solide : c'est l'élément le plus dur qui puisse exister sur terre. En revanche, sous cette forme-là, il est dans un état



métastable, dans les conditions de température et de pression dans lesquelles nous vivons. C'est presque un miracle qu'il puisse continuer à exister. Il pourrait en effet vite retourner à sa forme stable, le graphite.

Le graphite est un composé noir, qui ressemble à du charbon. Il est constitué de plans de carbone espacés de quelques angströms, qui peuvent glisser les uns sur les autres. Dans le passé, on a même utilisé dans des huiles des dérivés de graphite pour la lubrification.

Comme vous le voyez, avec rien que du carbone, on peut avoir l'élément le plus dur possible de la terre (le diamant), ou un élément qui sert à fabriquer des mines de crayons, des électrodes et qui vous salit les doigts quand vous mettez les mains dedans (le graphite).

Quand j'étais étudiant - et pour la majorité d'entre vous - jusqu'en 1985, c'étaient les deux formes que l'on connaissait du carbone. Puis, en 1985, coup de tonnerre : un chercheur britannique, Harold KROTO, qui travaillait dans le laboratoire de Richard SMALLEY à la Rice University avec Robert CURL, a découvert, en travaillant sur le graphite, que des petits paquets de graphite de quelques dizaines d'atomes ne se présentaient pas sous la forme plate présentée dans le transparent précédent. Cela se repliait pour former des ballons.

Le premier était le ballon avec 60 atomes de carbone ; il y en avait un à 70, un à 90, qui ressemblaient plus à des ballons de rugby. Le fullerène C₆₀ fait 0,8 nanomètre de diamètre. Je dis bien 0,8 milliardième de mètre.

Cela a été une révolution en 1985 et peut-être l'un des coups d'envoi des nanotechnologies. On s'est rendu compte, au niveau atomique, qu'en fonction du nombre d'atomes présents, la matière pouvait prendre des formes différentes. Pour la petite histoire, cela a été baptisé «fullerène» par référence à l'architecte Fuller, qui avait conçu la structure du pavillon des Etats-Unis à l'Exposition universelle de Montréal en 1967, avec des pentagones et des hexagones.

KROTO, SMALLEY et CURL ont reçu le prix Nobel pour cette découverte en 1996.

Entre-temps, Sumio IJIMA au Japon a observé les nanotubes de carbone. Sumio IJIMA est un physicien qui travaillait – et travaille encore – dans la microscopie électronique et qui a observé ces structures qu'il a baptisées «nanotubes de carbone». Là aussi, cela a été une révolution, alors que l'on se croyait tranquille depuis la découverte des fullerènes...

A quoi correspondent ces nanotubes de carbone ? Sumio IJIMA, en 1991, était supposé être l'inventeur ; plus récemment, Marc MONTHIOUX du CNRS de Toulouse, président du Groupe français des Carbones, a rédigé un éditorial dans la revue *Carbon*, en signalant que cette structure avait été observée et fabriquée dans le passé aussi, notamment par Morinobu ENDO, un professeur



japonais actuel qui avait fait sa thèse en 1976 à Orléans avec Mme OBERLIN, et qui avait d'ailleurs travaillé ensuite à Pau. Morinobu ENDO avait fabriqué sans le savoir des nanotubes et les avait observés en microscopie, mais il n'avait pas eu l'idée de les baptiser «nanotubes».

En creusant un peu, Marc MONTHIOUX a trouvé aussi que des chercheurs soviétiques dans les années 1920 ou 1930, si l'on reproduisait leur mode opératoire, avaient aussi produit des nanotubes sans le savoir.

Cela permet de comprendre l'histoire des nanotubes : c'est à la fois récent et ancien, cela dépend des lunettes que l'on met et aussi de l'analyse des publications anciennes que l'on peut avoir.

Le cliché suivant permet de voir comment l'on passe du graphite aux nanotubes.

Vous avez vu que le graphite correspond à des plans de carbone. Imaginez du grillage à l'échelle macroscopique, celui que l'on a dans les jardins pour faire des clôtures, tressé en forme d'hexagones. Lorsque vous faites une séparation avec votre voisin, vous repliez ce plan comme du papier à cigarette. Une fois que l'avez refermé, cela fait un cylindre et l'on obtient un nanotube de carbone.

Structurellement, c'est donc une feuille de graphite – une feuille de graphène, en terminologie chimique – enroulée sur elle-même.

15

Suivant que l'on enroule une ou plusieurs feuilles, on aura soit des nanotubes de carbone simple paroi, faisant un ou deux nanomètres de diamètre, soit des nanotubes de carbone multi-parois, pouvant aller de 6 à 15 nanomètres, certains pouvant même atteindre 10 nanomètres de diamètre avec un très grand nombre de feuilles de graphite enroulées sur elles-mêmes.

Voilà ce que sont les nanotubes de carbone.

En termes de synthèse, au niveau de la recherche universitaire, des Américains ont réalisé des mécanismes de synthèse en enroulant ces feuilles de graphite.

A quoi ressemblent les nanotubes de carbone ? Je vous ai montré des tubes rigides, on pourrait penser à des baguettes. Ce sont des modèles, en définitive, fruits des ordinateurs ou autres.

En pratique, à quoi cela ressemble-t-il ? Sur la plus grande photographie, le petit trait en haut doit représenter 50 nanomètres. Les nanotubes produits au niveau des laboratoires ou au niveau industriel ressemblent à cela. A l'échelle macroscopique, on pourrait penser à du soja dans une assiette. C'est plus ou moins flexible, plus ou moins régulier : chacun n'a pas exactement le même diamètre. Lorsque l'on regarde la photographie plus petite, on voit en coupe (en microscopie électronique à transmission) un nanotube, l'échelle devant être un ou



deux nanomètres. On voit les parois (il doit y en avoir 6 ou 8), soit 6 ou 8 feuilles de graphène les unes sur les autres.

C'est beau, c'est artistique, mais même si les universitaires s'intéressent à ce qui est artistique, il faut aussi qu'il y ait des propriétés. Or, ces nanotubes de carbone, par rapport à du graphite, présentent au moins trois propriétés exceptionnelles.

Premièrement, ils présentent une conductivité électrique au moins aussi bonne, voire supérieure, à celle de la meilleure conductivité métallique présentée par des métaux comme le cuivre.

Deuxièmement, ces nanotubes en traction ont une résistance mécanique au moins 100 fois plus grande que celle d'un fil d'acier de même diamètre.

La dernière propriété, que l'on a un peu tendance à oublier, est que les nanotubes de carbone présentent une conductibilité thermique exceptionnelle. C'est aussi une grandeur qui va les amener à être mis en évidence dans des phénomènes électroniques ou des phénomènes d'électricité. Voilà ce que l'on peut dire au niveau de la recherche.

Pourquoi un industriel s'est-il intéressé à de belles photographies ? Pourquoi s'est-il intéressé à de telles propriétés ? Je vais faire un petit retour en arrière. Je l'avais prévu de toute façon, mais l'intervention précédente m'encourage à le faire. La question était : est-ce une recherche qui se développe vite ?

16

Je vous ai déjà parlé de 1991, de 1976... Chez ARKEMA, qui ne s'appelait pas ainsi à l'époque, l'histoire a commencé en 1998, dans le bureau du directeur de la recherche Chimie du CNRS, Jean-Claude BERNIER. Je l'ai rencontré un jour pour faire un tour d'horizon et je lui ai posé la question suivante : que peut-il y avoir d'intéressant pour un industriel dans les dix prochaines années en termes de perspectives ? Il m'a répondu : «C'est curieux, mais les nanotubes de carbone ont des propriétés exceptionnelles. Je pense que les industriels dans quelques années devraient s'intéresser à cela».

C'était en 1998 Je suis parti deux ans aux Etats-Unis ; cela a été un fil directeur et, pendant cette période, j'ai fait un peu de *scouting* dans les laboratoires américains. C'était au moment où la nanotechnologie national initiative du gouvernement américain a été lancée, c'était donc en pleine effervescence. Rentré en Europe en 2001, j'ai fait le tour des laboratoires CNRS et j'ai trouvé à l'Institut national polytechnique de Toulouse, à l'ENSIACET, une équipe qui travaillait sur un procédé susceptible d'intéresser les industriels pour passer à un stade précisément industriel.

A cette époque, les nanotubes étaient proposés au minimum à 1 000 euros le gramme. C'était donc inenvisageable pour un industriel. Le procédé



sur lequel travaillait Toulouse pouvait laisser envisager un gain de prix de 1 000 ou 10 000 en abaissement. Cela a donc suscité notre attention. Fin 2001, avec mon complice Patrice GAILLARD, nous avons monté un projet de recherche au niveau d'ATOFINA, à l'époque. Nous l'avons présenté à la direction générale, en expliquant qu'il fallait que l'on travaille avec l'ENSIACET pour explorer cette voie.

L'ENSIACET a bénéficié d'une aide de l'ANVAR pour construire ce qu'ils ont baptisé un «pilote de laboratoire», pour être capable de produire plusieurs grammes par jour de nanotubes de carbone. L'aide de Lombard (?) a été utile directement au CNRS pour lancer cette recherche.

Le transparent suivant montre le procédé, tel qu'il est sorti de la recherche avec l'Institut national polytechnique de Toulouse et tel qu'il été repris ensuite au groupement de recherche de Lacq par l'équipe de Patrice GAILLARD.

Ce procédé est très simple, sur le plan chimique. C'est un réacteur à lit fluidisé dans lequel on met des particules solides de quelques dizaines ou centaines de microns, sur lesquelles on dépose un métal (fer, nickel ou cobalt). Le tout est maintenu en suspension par un courant gazeux et on envoie dessus une source d'hydrocarbure. Cet hydrocarbure, entre 500 et 800 degrés, est décomposé et il pousse sur chaque grain comme des cheveux, des nanotubes de carbone.

Voilà comment se font préindustriellement (ou en laboratoire universitaire, puisque que c'était la base) des nanotubes de carbone.

17

Le transparent suivant est une photographie du pilote continu qui a été inauguré à Lacq en janvier 2006. Ce réacteur est capable de produire quelques tonnes par an de produits représentatifs d'une fabrication industrielle.

Le transparent suivant concerne les applications innovantes. Les nanotubes de carbone peuvent - et apportent déjà - des solutions technologiques qui vont contribuer à beaucoup de développements durables. Il ne faut pas se leurrer : les nanoparticules et les nanotubes de carbone sont parmi nous depuis longtemps, depuis même un siècle pour certains. On ne le savait pas, parce que l'on n'avait pas les bons instruments d'observation.

Un certain nombre de matériaux, dont les nanotubes de carbone, vont impacter directement tout ce qui est énergie. On ne peut pas envisager les énergies durables (éolien, photovoltaïque...) sans nanotubes de carbone. Vous avez tous dans vos poches des nanotubes de carbone. Les batteries au lithium-ion contiennent toutes des nanotubes de carbone et ce, depuis très longtemps, puisqu'un Japonais en produit depuis 1988. La découverte remonte à 1991, mais ils étaient fabriqués avant, depuis 1988, à un niveau industriel.

Un Américain en fabrique depuis 1983, sauf qu'il ne savait pas que c'étaient des nanotubes de carbone, il les baptisait «nanofibril». On a trouvé, en faisant des essais, que le fait de mettre 10 % de nanotubes de carbone dans le



noir d'électrode pour les mettre dans des batteries lithium-ion permettait une augmentation considérable de la capacité de ces systèmes. Sans nanotubes de carbone ni d'ordinateurs portables, on n'aurait pas de téléphones cellulaires. C'est une révélation mais, au début, ils ne le savaient pas.

Dans les transports, concernant l'allègement des matériaux, un certain nombre de véhicules français contiennent des nanotubes de carbone depuis les années 1990 dans des pièces plastiques. Ils n'étaient pas appelés ainsi ; ils étaient produits industriellement, c'étaient des «matériaux nanocarbonés», parce qu'ils n'avaient pas été caractérisés à l'époque.

On peut citer aussi les technologies de l'information et de la communication. Je ne parlerai pas de la santé, car il est prévu des sessions spéciales. On place beaucoup d'espoir dans les nanotubes de carbone utilisés comme vecteurs de transfert de principes actifs.

Tout cela permet des économies d'énergie et de matières premières et contribue donc au développement durable.

M. CHARBONNEAU. - J'ai limité mon temps de parole, mais là, j'ai été nettement dépassé ! Je souhaiterais poser une question au représentant d'Arkema. Quel est le montant de la subvention que vous avez reçue du Conseil régional d'Aquitaine ?

M. BERGOUGNOUX. - Je ne le sais pas. Peut-être faudrait-il demander cela au chef de projet.

M. GAILLARD. - Je suis Patrice GAILLARD, Directeur du programme «nanotubes de carbone» chez Arkema. Le montant de cette subvention qui a été associée au développement de recherche, en particulier du pilote dont on a pu voir la photo, est (de mémoire) de l'ordre de 400 000 euros.

Il me semble important de préciser d'autres chiffres. Aujourd'hui, Arkema a dépensé (hors investissements du projet de pilote industriel) à peu près 25 millions d'euros sur ce projet de recherche.

Pour répondre à une autre question sur le ratio des études toxicologiques, par exemple, j'élargis ce domaine à celui des études de protection des travailleurs, de détection de métrologie et, avec notre collaboration avec différents instituts comme le CEA, l'INERIS, l'INRS ou autres, j'estime cette partie de protection et d'études toxicologiques et écotoxicologiques à environ 50 % de l'ensemble.

M. BERGOUGNOUX. - Merci pour ces précisions. Patrick BROCHARD, que peut-on dire concernant les dangers des nanotubes de carbone ou, plus généralement, d'autres nanoparticules ?

M. BROCHARD. - Je suis désolé, je n'ai pas de diapositives parce que l'on m'avait dit qu'il n'était pas souhaitable d'en faire...



Le domaine de la toxicité des nanoparticules est un monde qui démarre et dont les premières publications sont sorties au milieu des années 1990, où l'on a constaté que, lorsque vous preniez une particule de même composition chimique, lorsque cette particule était de dimension nanométrique, c'est-à-dire en dessous de 100 nanomètres, elle acquérait des propriétés biologiques très différentes de la même particule micronique, en particulier sur la toxicité cellulaire et la réactivité cellulaire. Ce sont les études des années 1990, en particulier d'un grand chercheur américain, M. OBERDÖRSTER, qui continue à travailler dans ce domaine.

Depuis dix ans à peu près, nous en sommes maintenant à plusieurs centaines de publications sur le sujet. J'ai procédé à un recensement très récent des publications dans les trois derniers mois, par exemple, pour une banque de données de veille organisée par l'AFSSET. On arrive à peu près à une centaine de publications ces trois derniers mois sur le domaine strict de la toxicité des particules nanométriques. Je parle bien des particules nanométriques, qui ne sont pas forcément que des nanoparticules. Ce peut être également des particules ultrafines d'autre origine.

Cette masse de connaissances commence à nous dresser un portrait des propriétés biologiques de ces particules en termes de toxicité. Je ne parlerai absolument pas des applications des nanoparticules dans le domaine de la nanomédecine ou de l'imagerie médicale : c'est un autre domaine, très intéressant, mais que je n'aborderai pas ici. Je me contenterai de cibler le domaine des observations faites soit sur des modèles cellulaires, soit sur des animaux et, éventuellement, quelques observations faites chez l'homme.

Sur les modèles cellulaires, il est clair que les observations faites à la fin des années 1990 ont été régulièrement confortées par les nouvelles acquisitions faites au fur et à mesure des publications. Cependant, une difficulté très importante gêne l'interprétation de nos résultats : ces particules très petites de taille nanométrique ont une propriété bien particulière d'agrégation très rapide dans les milieux de culture, voire dans l'atmosphère. En termes d'étude des relations dose-effet, il est toujours difficile de savoir exactement quelles sont les doses délivrées au niveau des cellules puisque, très souvent, la particule de départ s'est agrégée en cours de route et a pu être modifiée pendant l'expérience.

Néanmoins, selon les données les plus récentes - il y a en particulier l'équipe écossaise de l'institut d'Edimbourg qui travaille beaucoup dessus, avec des résultats très cohérents - on arrive à trouver un portrait-robot de la toxicité de ces nanoparticules.

Le premier paramètre, qui est certainement important, est donc la taille. La taille, ce n'est pas au-dessus et en dessous de 100. La définition des nanoparticules est en effet 100 nanomètres, mais plus on diminue leur taille, plus la réactivité de surface de ces particules augmente. Il n'y a donc pas un barrage



entre 101 nanomètres et 99 nanomètres, mais une progression de la réponse inversement proportionnelle à la taille.

Cette taille va conditionner deux éléments :

➤ D'une part, ces particules vont se déplacer dans l'organisme, à commencer par l'appareil respiratoire. On va retrouver ces particules jusqu'au plus profond de l'appareil respiratoire, c'est-à-dire jusqu'au niveau des alvéoles.

➤ D'autre part, ces particules sont très petites. Elles échappent à la vigilance habituelle des macrophages pour les particules plus grosses. Les macrophages sont des cellules qui se trouvent dans le système respiratoire et qui sont là d'habitude pour phagocyter, c'est-à-dire englober, ces particules afin de les éliminer.

Dans ce cas, la taille fait que ces phénomènes de phagocytose ne fonctionnent plus normalement ; les nanoparticules vont pouvoir pénétrer dans les cellules et à travers les membranes biologiques, de façon très différente des particules microniques. Le fait de rentrer dans les cellules et de traverser également les membranes a une conséquence importante : on va pouvoir les trouver de l'autre côté de la membrane alvéolo-capillaire, c'est-à-dire du côté sanguin. A partir de ce moment-là, elles peuvent être diffusées par voie hémotogène dans tout l'organisme.

De plus, la taille des particules fait qu'elles peuvent pénétrer également au niveau des terminaisons nerveuses, en particulier au niveau de celles du système ORL, notamment le nerf olfactif. On a pu très clairement montrer chez l'animal que les nanotechnologies pouvaient pénétrer dans le cerveau à travers ces nerfs olfactifs et ce d'autant plus facilement qu'elles étaient plus petites.

Un autre paramètre est extrêmement important, celui de la surface.

En effet, la surface spécifique des particules est d'autant plus importante qu'elle est plus petite. Les derniers travaux, par exemple ceux de l'équipe d'Edimbourg, ont très bien montré - aussi bien dans le modèle *in vitro* (c'est-à-dire sur la cellule) qu'*in vivo* (c'est-à-dire chez l'animal) - qu'il existait une relation dose-effet tout à fait reproductible avec différentes compositions chimiques, à partir du moment où l'on avait la même surface. La surface a donc l'air de conditionner également les effets observés sur la cellule.

Un troisième élément important est celui de forme.

Tout à l'heure, nous avons vu deux particules de carbone, un fullerène, un ballon de football, et une particule plus allongée, qui est le nanotube de carbone. Là, des éléments dans la littérature montrent qu'à taille et à surface égales, une particule allongée ne se comporte pas de la même façon qu'une particule sphérique au niveau cellulaire et tissulaire. Cela a été décrit depuis bon nombre d'années avec des matériaux très différents et les toxicologues des



particules connaissent bien cela : c'est ce que l'on appelle l'effet fibre. Celui-ci est proportionnel à la longueur de la particule par rapport à son diamètre.

A partir du moment où vous avez une forme très allongée, la réactivité biologique sera différente avec probablement, comme l'ont montré les dernières études, entre autres sur les nanotubes de carbone, un effet différent de la réactivité que l'on peut observer par ailleurs sur les particules non allongées.

Un dernier élément très important est la biopersistance.

Dans les liquides biologiques, une fois qu'elles se sont déposées dans le mucus ou dans le surfactant, certaines de ces particules vont se dissoudre, auquel cas on sera confronté à une toxicité chimique traditionnelle. S'il y a du chrome, du nickel ou du cadmium dedans, vous aurez la toxicité du chrome, du nickel ou du cadmium, qui n'est pas la toxicité de la nanoparticule, mais celle de la forme ionique de ce métal, par exemple.

Dans les particules insolubles, comme c'est le cas de certains carbones, le problème réside dans le fait que ces éléments sont susceptibles d'être biopersistants. A partir du moment où elles ont passé les membranes, elles vont se retrouver piégées dans l'organisme et comme elles sont quasiment insolubles, elles vont pouvoir y exercer des effets au fur et à mesure du temps.

Je terminerai par ce constat : globalement, que se passe-t-il au niveau de la cellule ? Lorsque la cellule internalise ces nanoparticules (en particulier lorsqu'elle en internalise beaucoup), elle va avoir un stress oxydant, c'est-à-dire qu'elle va être agressée et va avoir une réponse de défense par rapport à ce stress oxydant.

Lorsque la dose est relativement faible, la cellule se défend ; se met en place une réaction inflammatoire au niveau de la cellule et des tissus environnants. Une réaction inflammatoire, cela peut être très bon (lorsque vous vous coupez, la réaction inflammatoire vous permet de guérir), mais lorsque cette réaction est persistante, ce n'est pas très bon pour l'organisme. On sait très bien que toutes les maladies inflammatoires chroniques sont des maladies qui évoluent avec des complications qui peuvent être importantes.

Par conséquent, cette notion de réaction inflammatoire est importante. Au maximum, lorsque les doses sont très importantes, on a des réactions cytotoxiques, c'est-à-dire que la cellule meurt et là, on a une autre réaction inflammatoire, qui est une réaction de déterision liée au fait que la dose a été très forte et que les cellules sont mortes.

Ce qui est intéressant, c'est que pour des doses relativement plus faibles, on peut avoir des réactions non cytotoxiques, mais pro-inflammatoires qui, en tout cas pour nous toxicologues, sont des indicateurs d'effets pathogènes potentiels chez l'homme.



Chez l'homme, il y a très peu de littérature actuellement concernant les nanoparticules proprement dites. La littérature est importante sur les particules ultrafines de la pollution atmosphérique, mais c'est compliqué à interpréter, car dans ce type de particules, il n'y a pas que des particules : il y a aussi des gaz, des hydrocarbures aromatiques polycycliques, des métaux... On ne sait donc pas très bien qui fait quoi. On sait que cela rend malade, mais on ne sait pas très bien si c'est la forme de particule ultrafine ou si c'est son environnement.

Le seul élément que l'on ait actuellement chez l'homme, ce sont des études d'expositions contrôlées. On prend des sujets témoins que l'on met dans des structures d'expositions contrôlées à des concentrations (qui ne dépassent pas les concentrations que l'on observe dans l'environnement extérieur) - en général, on fait cela avec des particules de carbone ultrafin, donc de dimension nanométrique - et l'on mesure un certain nombre d'effets.

A ce jour, une quarantaine d'études ont été publiées sur des essais contrôlés chez l'homme avec (dans certains cas, pas dans toutes les études) des réponses qui sont observées pour des concentrations extrêmement faibles, de l'ordre de 50 microgrammes par mètre cube de concentration dans l'atmosphère.

Manifestement, on peut observer chez l'homme des réponses d'ordre cardio-vasculaire ou respiratoire, sans que l'on puisse dire aujourd'hui que ces réponses sont prédictives d'un effet pathogène durable. Néanmoins, l'organisme répond et il entraîne quelque chose qui peut être mesurable.

22

M. BERGOUGNOUX. - Je vous remercie. Quelqu'un souhaite-t-il poser des questions au professeur BROCHARD ?

Mme NEVEU. - Bonsoir. Je m'appelle Annie NEVEU, je suis pharmacienne et j'appartiens à la SEPANSO. Je voudrais remercier le professeur BROCHARD pour son exposé très clair sur les nanoparticules.

Cela m'incite à aller dans le sens de Simon CHARBONNEAU. Quand on sait que les nanoparticules sont actuellement largement diffusées dans l'alimentation, les cosmétiques et les vêtements et qu'elles peuvent pénétrer la barrière cutanée ou la barrière pulmonaire, je pense qu'il faut effectivement au moins un moratoire sur ces développements. Il ne faut pas retrouver cela dans ce que l'on mange ou dans ce que l'on met sur soi. A la limite, c'est quelque chose qui devient criminel.

D'ailleurs, le gouvernement allemand ne s'y est pas trompé, puisqu'il incite les consommateurs à ne pas consommer de produits contenant des nanoparticules. Le problème est qu'il n'y a pas d'étiquetage ni d'information et que personne ne sait où sont les nanoparticules. Lorsque l'on achète un vêtement qui est supposé nous empêcher de transpirer, qui sait que ce sont des nanoparticules qui empêchent la transpiration ? C'est pareil pour les chaussettes anti-transpirantes : personne ne sait qu'il y a des nanoparticules dedans.



L'information du public n'est pas assurée et, à mon avis, cela justifierait amplement un moratoire au moins sur les produits de consommation. Pour le reste, on peut aussi envisager un moratoire, dès l'instant où l'on libère dans la nature des particules dont on ne sait pas ce qu'elles vont devenir dans l'environnement, que l'on ne pourra pas maîtriser ni détecter. En laboratoire, c'est bien beau : on peut les détecter avec un spectromètre de masse ou d'autres moyens électromagnétiques, mais dans la nature, dans l'eau ou dans le sol, quels moyens va-t-on utiliser pour détecter ces nanoparticules ? On n'en sait rien : elles seront là, mais on ne saura pas où elles sont.

On joue avec le feu. On a joué avec le feu concernant les pesticides et les OGM et l'on continue avec les nanoparticules. On est au pied du mur et il faudrait peut-être se poser la question de savoir à quel moment on s'arrête.

M. BERGOUGNOUX. - Je vous remercie...

M. SIGAUD. - Olivier SIGAUD. Je vous remercie pour votre exposé. J'ai participé au rapport de l'AFSSET sur «Cancers et environnement». J'étais intervenu comme socio-économiste. Ce n'est pas ma culture : scientifique, l'infiniment petit, etc., mais la question que j'avais posée est celle du principe de précaution. Est-il réellement appliqué sur ce type de recherche ? C'est le lien entre science et techniques et c'est surtout la connaissance du grand public.

Est-ce que vraiment le grand public est représenté ici ? A-t-on un véritable débat public ? Je reprends l'argumentaire de PMO, qui n'est pas faux. On fait des concertations, mais est-ce que ce ne sont pas des concertations «prétexées» pour essayer de rassurer les populations ?

23

J'ai participé en juin au colloque à l'Ecole des Mines sur le risque. J'ai vu les parlementaires qui participaient à la Commission sur les choix technologiques extrêmement inquiets. Ils ont déjà eu l'amiante qui coûte 1,5 milliard d'euros par an, les OGM leur posent aussi problème.

A-t-on les dispositifs suffisants pour informer les citoyens, pour poser ces questions dans un espace public où les gens ont une information suffisamment contradictoire ? Est-ce que les lobbies n'ont pas encore pris le devant sur les citoyens et n'ont pas essayé de verrouiller le débat ? La recherche est-elle capable de penser en toute sérénité pour nous offrir un ensemble d'éléments permettant de nous fonder une opinion ?

A Bordeaux a été organisée la projection de cet excellent film qui s'appelle «Le silences des nanos», de Julien COLIN. Je ne trouve pas normal que ce film ne passe pas à la télévision, parce que c'est un film qui ne condamne ni la science ni les nanos, mais qui pose un certain nombre de questions. Clément ROSSIGNOL avait participé au débat et avait vu que certains points posaient question.



Nous faisons aussi un travail de plasticien : nous avons réalisé une structure chez Louis-Albert de BROGLIE qui s'appelle «Fullerène», dans un travail autour de la nature malmenée... Le fullerène, qui est la particule élémentaire du carbone, est en fait un emprunt à un architecte, BUCKMINSTER FULLER, qui avait travaillé sur le biomimétisme, les dômes géodésiques... Il est intéressant de voir comment on a emprunté le nom d'un artefact, de quelque chose de totalement artificiel à quelqu'un qui avait réfléchi plutôt sur la nature et sa capacité à créer de la diversité.

M. BERGOUGNOUX. - Je vous remercie. J'ai ici une question :

«Quelles assurances ont les travailleurs et utilisateurs de produits intégrant des nanotubes de carbone, qui ne seront pas soumis aux mêmes risques sanitaires que ceux de l'amiante, dont les périodes d'apparition peuvent dépasser vingt ans après l'exposition au produit ?

Peut-être peut-on d'abord regarder la question sous l'angle scientifique et toxicologique ? Entre l'amiante et les nanotubes de carbone, y a-t-il quelque parenté ? Ensuite, nous parlerons des précautions».

M. BROCHARD. - Vous soulevez évidemment une question importante.

M. BERGOUGNOUX. - Ce n'est pas moi qui la soulève : c'est le papier !

M. BROCHARD. - Les connaissances que l'on a sur les nanotubes de carbone sont fragmentaires. Je vous ai dit tout à l'heure que nous avons simplement un élément qui me semblait important : les connaissances sur la toxicité des particules ont permis dans les années 1980 et 1990 d'acquérir des connaissances sur les mécanismes de la réponse cellulaire, par rapport à des particules qui ont des formes spécifiquement allongées.

Là, on connaît une partie de ces mécanismes : on sait que la phagocytose n'est pas normale, en particulier lorsque la particule est très allongée, puisqu'elle va dépasser souvent la taille même du macrophage. Cette phagocytose ne peut pas se faire normalement.

A partir du moment où l'on se retrouve dans les mêmes conditions, avec un matériau qui a des rapports longueur/diamètre très élevés, effectivement on peut tout à fait discuter d'extrapolations qui ont été faites par rapport à des travaux obtenus sur d'autres matériaux fibreux.

Je rappelle qu'il n'y pas que l'amiante sur laquelle des données considérables ont été acquises ; il y a les travaux de STANTON dans les années 1970, par exemple. STANTON était le premier à avoir décrit «l'effet fibre». Ses travaux avaient montré qu'il observait les mêmes phénomènes biologiques pour des particules de compositions chimiques très différentes. Dedans, il y avait l'amiante, avec ses diverses variétés, mais aussi d'autres matériaux fibreux, comme les fibres de verre ou des fibres vitreuses, voire des fibres organiques.



A l'époque, il n'y avait pas de fibres de carbone ou de nanotubes de carbone qui avaient été testés, mais il y a ce corpus de connaissances qui existe, que nous avons et sur lequel on ne peut pas s'asseoir.

M. BERGOUYNOUX. - Je vous remercie. Serge LOPEZ, comment gérez-vous cela ? C'est tout de même dangereux...

M. LOPEZ. - Je représente l'Administration du travail. Je souhaiterais revenir au thème de la protection des travailleurs et éventuellement répondre à l'interpellation de la fédération Chimie de la CGT.

J'enlève ma casquette de fonctionnaire et je dis, en ma qualité de citoyen, que je ne suis ni un admirateur béat du progrès technique - ce qui me rappelle d'ailleurs certains sujets de philosophie au bac il y a très longtemps - ni un prêcheur de l'apocalypse en la matière.

J'ai beaucoup appris sur les nanotubes de carbone, c'est déjà un point acquis. Pour être un peu plus sérieux, dans les différents débats publics qui ont été animés, deux questions résumant bien les inquiétudes qui existent. Elles ont encore été exprimées aujourd'hui :

- Premièrement, pour les travailleurs, comment éviter la catastrophe sanitaire de l'amiante ?
- Deuxièmement, face à toutes ces incertitudes, faut-il interdire ou faut-il faire un moratoire ?

25

Par rapport à l'amiante, il y a une production et une utilisation massive au cours du XXe siècle. La logique de prévention ne s'est imposée que très progressivement, voire tardivement.

A l'inverse, concernant les nanoparticules et les nanotechnologies, il me semble que s'il y a un débat aujourd'hui, même si cela a commencé déjà, nous ne sommes pas sur une utilisation massive et que, normalement, nous espérons bien que ce type de débat puisse interpeller les décideurs et qu'il y ait une prise en compte de la sécurité sanitaire. Par rapport aux différentes crises sanitaires que l'on a pu rencontrer, la société a évolué, ainsi que les exigences.

On a parlé du principe de précaution. C'est vrai que cela a été inscrit dans la Constitution et je crois qu'il y a (on en pense ce que l'on veut) un certain nombre de plans gouvernementaux, le Plan national Santé-Environnement, le plan national Santé au travail ou le plan Cancer, dans lesquels certains de ces éléments ont été pris en compte, parce que les exigences de la société évoluent. Je crois d'ailleurs que ce débat public en est l'un des signes.

Par rapport à l'Administration du travail, à l'inspection du travail, on milite pour deux exigences (vous voyez que même des fonctionnaires peuvent militer) :

- D'abord, comment améliorer la connaissance ? C'est essentiel, mais cela a été dit : quelle est la part des investissements sur la recherche



toxicologique, épidémiologique, etc. ? Comment les entreprises s'ouvrent-elles aux chercheurs et à ce type de recherche ?

➤ Ensuite, l'AFSSET a été saisie de ce sujet.

Concernant la question très précise par rapport au Code du Travail sur les mesures de prévention (toujours sur la protection des travailleurs), il existe un règlement REACH. On pense qu'avec ce règlement, on va tout traiter (je parle sous le contrôle de mes collègues de l'administration centrale, quelquefois je vais peut-être déborder un peu...).

C'est vrai qu'il existe une réglementation européenne, issue de négociation entre différents pays et l'on ne peut pas dire que l'on a pris le niveau le plus haut en la matière. Reste que cette réglementation doit évoluer, puisqu'aujourd'hui, sur la problématique des procédures d'enregistrement des produits et des substances, elle s'applique à des produits fabriqués à raison de plus d'une tonne par an, ce qui n'est pas vraiment le cas au moins de la moitié de la production de nanoparticules en France.

REACH est donc un élément de réponse, mais je crois qu'il faudrait qu'il évolue au niveau européen.

En ce qui concerne le Code du Travail, je ne serai pas être abscons, mais sachez qu'il n'y a pas aujourd'hui de vide juridique, même si la réglementation doit évoluer. Cela relève de la responsabilité du chef d'entreprise (je m'excuse de dire cela, mais c'est une réalité juridique) : une obligation de résultat et une évaluation des risques et des mesures qu'il doit prendre.

26

Je ne vais pas vous rappeler ce qui est prévu dans le Code du Travail, notamment par rapport à la réglementation liée aux risques chimiques, puisqu'il s'agit de cela lorsque l'on traite des nanoparticules :

➤ Premièrement, c'est la suppression du risque, cela paraît assez élémentaire,

➤ Deuxièmement, c'est la substitution du produit (cela paraît peu pertinent, puisque l'objectif est bien de fabriquer ces produits),

➤ Troisièmement, c'est la réduction du risque à un niveau acceptable et l'application de la réglementation sur le risque chimique, qui prévoit notamment - je crois que cela a été dit - le fait de travailler en système clos (je crois que c'est ce qui se passe chez Arkema dans le Sud-Ouest),

➤ Ce sont également des moyens de protection collective et individuelle, l'information des travailleurs et des représentants du personnel et des CHSCT (ce ne sont pas que des sujets passifs, ils doivent être aussi des acteurs) et également tout ce qui tourne autour de la surveillance médicale et de la traçabilité.



Voilà ce qui existe aujourd'hui dans la réglementation et dans le Code du Travail (article R4412-1 et suivants).

Néanmoins, il me semble tout de même, par rapport à ce que l'on a pu entendre et ce qu'a dit le professeur BROCHARD, qu'aujourd'hui les lacunes en termes de connaissance des dangers intrinsèques liés aux nanoparticules rendent particulièrement délicate et difficile l'évaluation des risques et, par voie de conséquence, les voies de prévention en termes de sécurité. Cela nous amène à dire qu'il faut entrer dans une démarche de précaution et appliquer la réglementation la plus stricte en termes de Droit du Travail, tant que l'on n'en saura pas un peu plus.

Pour finir, j'ai échangé avec ma collègue inspectrice du travail qui a visité Arkema très récemment. Même si ces règles sont effectivement appliquées, des questions tout de même se posent. Je pense que c'est un débat par rapport à la protection des travailleurs :

➤ Première question : le système clos, c'est évident, dans le cadre du process en tant que tel. Cela dit, qui va intervenir sur ce système ? C'est notamment la problématique des entreprises qui interviendront sur l'entretien, la maintenance et le nettoyage.

➤ Deuxième question : oui, c'est très protégé dans les laboratoires de recherche, mais ces produits sont prévus pour d'autres utilisateurs. Quid de la traçabilité et des mesures de précautions par rapport à ces entreprises qui vont introduire cela dans des raquettes de tennis, des vélos, etc. ?

27

Telles sont les deux questions qui subsistent. Il y a une réglementation qui doit évoluer, cher Monsieur, mais il reste beaucoup d'incertitudes qu'il faut essayer de réduire.

M. CHARBONNEAU. - Je voudrais rebondir en tant que juriste, pour rappeler les deux conditions d'invocation du principe de précaution :

- l'incertitude scientifique,
- l'existence probable de risques graves et irréversibles.

Avec les nanotechnologies, nous sommes donc en plein dans cette problématique.

Or, c'est dit clairement, ce principe est applicable aux décisions concernant les pouvoirs publics. Si l'on prend le cas des subventions accordées à l'industrie pour le développement de cette technologie, il est évident que le principe n'a pas été appliqué, alors que si les subventions avaient été prioritairement accordées à l'évaluation des risques avant d'être accordées au développement, cela se serait inscrit dans le respect du principe de précaution. Vis-à-vis des décisions de subventions prises (j'ai cité le Conseil régional, mais on



peut citer aussi les ministères, au niveau national), on pourrait imaginer un contentieux devant le Conseil d'Etat.

(Applaudissements.)

M. LEVY. - Je m'appelle Patrick LEVY. Je travaille pour le compte de l'Union des Industries Chimiques (UIC). J'y exerce la fonction de médecin conseil. Je m'exprimerai également pour le compte du MEDEF national.

Les nanotechnologies constituent une voie d'innovation majeure susceptible d'apporter des bénéfices considérables en matière de protection de la santé et de l'environnement.

Pour répondre à M. CHARBONNEAU, certes, ce n'est pas une question de vie à court terme, mais c'est très certainement une question de survie de l'industrie ou de pans entiers de l'industrie à moyen et à long terme.

Concernant la protection de la santé des travailleurs, point essentiel de ce débat, c'est une priorité absolue pour les entreprises. Cela a été rappelé par le représentant de l'Administration : il est de la responsabilité des entreprises d'assurer la protection de la santé et de la sécurité et c'est une responsabilité que nous assumons.

Ensuite, lorsque l'on regarde le cycle de vie des substances nanoparticulaires, on voit bien que l'exposition des travailleurs est absolument à maîtriser, notamment dans les installations de production.

Pour répondre à certaines réflexions, on a dans les installations de production (cela a été montré dans le cas de la production des nanotubes de carbone) des substances à l'état nanoparticulaire dans les réacteurs, mais, très souvent, lorsque l'on sort des sites de production, ce n'est déjà plus à l'état nanoparticulaire, mais souvent sous une forme agglomérée, matricielle, voire en solution, si bien que tout risque d'exposition par voie inhalatoire est complètement annihilé.

Par la suite, lors de la fabrication des objets, qu'on appelle des articles, il n'y a plus de risque d'exposition. Avez-vous un risque d'exposition à des nanotubes de carbone lorsque vous jouez au tennis ou lorsque vous portez un vêtement ? Les substances sont totalement intégrées dans des matrices et il n'y a plus de risque d'exposition à celles-ci.

Par rapport à des substances à l'état nanoparticulaire, il faut bien faire la part des choses.

D'une part, des substances sont mises sur le marché depuis de très nombreuses années. Je pense notamment au dioxyde de titane, à la silice précipitée, pour lesquels on dispose de beaucoup de données toxicologiques et écotoxicologiques. Elles comptent parmi les substances les mieux étudiées à ce



jour et c'est le principe de prévention qui s'applique, consistant à dimensionner les moyens de protection par rapport au niveau de danger.

D'autre part, lorsque les connaissances sont insuffisantes ou en cours d'acquisition, c'est bien le principe de précaution qui s'applique, nécessitant en premier lieu de supprimer le risque, d'appliquer le plus haut niveau de confinement technique. C'est bien un procédé de vase clos (*closed process* en anglais) qui est privilégié, comme nous l'a montré la présentation d'Arkema.

Je terminerai sur deux points qui nous semblent essentiels de façon pratique en matière de protection de la santé.

D'abord, il faut améliorer la connaissance (c'est en cours, notamment avec REACH) et améliorer la communication dans les chaînes de distribution des produits. Nous avons un outil qui s'appelle la Fiche de Données de Sécurité, qui doit certainement être améliorée pour porter l'information et permettant l'information des employeurs successifs et des travailleurs.

Par ailleurs, il faut absolument organiser la traçabilité des expositions, pour être en mesure de réaliser ultérieurement des études épidémiologiques sur ces sujets.

M. BERGOUGNOUX. - Merci. Monsieur MONTELEON, il me semble que c'est un sujet qui vous est cher...

M. MONTELEON. - Oui, c'est un sujet qui nous est très cher à la CFTC, car c'est la protection des travailleurs face à un risque totalement inconnu. Patrick BROCHARD l'a dit tout à l'heure : il y a beaucoup d'incertitudes. On a plusieurs niveaux d'intervention...

Dans le laboratoire, le chercheur trouve des nouveaux nanomatériaux, avec de nouvelles propriétés, qui auront des nouvelles biopropriétés et biotoxicités que l'on ne connaît pas. Dans son laboratoire (forcément, là on est dans le cadre de la recherche), on imagine qu'ils prennent toutes les précautions nécessaires. On espère que l'employeur évalue le risque auquel il l'expose. Ce n'est pas certain, puisque l'on est dans le domaine de la recherche et que l'évaluation est donc très complexe. Cela dit, on est tout de même déjà dans une situation où l'on se dit : «Attention, il peut y avoir un grand danger».

Lorsque l'on dépasse l'étape du laboratoire et que l'on arrive en production, on va dire : «Là, on est encore dans une situation que l'on maîtrise mal. On ne connaît pas tous les dangers». On va donc confiner, on va mettre dans des process sur lesquels on ne va pas mettre au contact les salariés (ou l'on va éviter le plus possible de le faire).

Cela dit, on ne les produit pas pour le plaisir de les laisser enfermés, confinés dans des boîtes. Si on les produit, c'est bien pour les utiliser par la suite et ces boîtes ou ces process font appel à des machines qui sont susceptibles de tomber en panne, de s'encrasser. Il va donc falloir les entretenir : des intervenants



extérieurs viendront dans l'entreprise pour effectuer ces entretiens de machine. Comment sont-ils informés et protégés ? Savent-ils même qu'il y a des nanomatériaux et à quel type de nanomatériaux ils sont exposés ? Savent-ils quel type de protection ils doivent avoir ? La plupart n'en ont aucune idée.

Là, nous sommes encore dans un domaine où l'on sait presque de quoi on parle, puisqu'il y a une déclaration obligatoire. On est en train de fabriquer des nanomatériaux, donc on doit déclarer qu'on les fabrique.

Les médecins du travail des entreprises concernées savent que l'on parle de nanomatériaux et font ce qu'il faut, du moins je l'ai entendu au CEA. J'imagine que chez Arkema, c'est la même chose. Ils assurent une traçabilité dans le dossier médical. Lorsque le salarié va quitter l'entreprise, que devient ce dossier médical ? En tout cas, il ne suit pas le salarié, ou rarement. Dans des pathologies qui apparaîtront peut-être vingt ou trente ans plus tard, lorsque l'on a quelque chose qui ressemble à de l'amiante, où va-t-il retrouver son dossier médical ? Comment pourra-t-il le consulter et comment pourra-t-il dire à quoi il a été exposé ? Nous n'avons pas ce genre de traçabilité. La traçabilité, telle qu'elle est prévue aujourd'hui, c'est la traçabilité sur les cancérogènes avérés et encore, pas tous. Nous ne sommes pas dans ce cadre.

M. LEVY nous disait que lorsque les nanos sortent, elles ne sont plus sous forme nanométrique. Quel est l'intérêt de fabriquer des nanos si, dès qu'elles sont sorties de la boîte, ce ne sont plus des nanos ? Il ne faut pas se voiler la face : on cherche bien à faire des nanos...

30

Cela n'a pas vraiment été dit, mais je l'ai entendu dans les débats au Nanoforum du CNAM : lorsqu'elles s'agglomèrent (notamment les nanotubes de carbone), cela peut donner quelque chose qui ressemble à des fibres d'amiante et cela peut avoir des comportements similaires. A ce moment-là, ce n'est plus une nano, mais cela reste dangereux.

Ce n'est qu'un exemple... Tout à l'heure, nous avons parlé des nanotubes de carbone, mais nous pouvons parler de n'importe quel produit chimique, n'importe quel composé sous une forme nanométrique... Nous ne savons pas exactement ce que les chercheurs vont nous trouver demain. Nous savons à peu près ce qu'ils ont trouvé aujourd'hui, mais nous ne savons pas pour demain.

Je disais donc que cela sort de l'entreprise qui l'a fabriqué, pour être mis en production dans une autre entreprise qui va fabriquer un produit destiné au public. Là encore, les salariés sont les premiers exposés. Ils reçoivent des nano-éléments, dont ils ont peut-être encore l'idée que ce sont des nano-éléments.

Ils vont les intégrer dans quelque chose et, si c'est un produit fini, on va savoir tout de suite comment on l'intègre dedans. Ce peut être le cas en cosmétologie, on l'a vu lors d'un débat récent. Ce peut être également dans un



produit en première transformation, c'est-à-dire que l'on va fabriquer des matériaux qui vont être utilisés par d'autres entreprises pour faire autre chose. Par exemple, ce peut être pour fabriquer des matériaux plus résistants, plus élastiques, des matériaux qui auront les caractéristiques que l'on souhaite qu'ils aient.

Ils vont être vendus. L'employeur de l'entreprise en deuxième transformation, en revanche, ne saura peut-être même plus qu'il y a des nanomatériaux, parce que la Fiche de Données de Sécurité n'en fait pas état, parce que là, les règlements ne permettent pas vraiment... C'est sous forme de trace, on est peut-être en dessous du pourcentage de nanomatériaux qui est prévu dans ces fiches et on ne le sait pas vraiment. On va donc commencer à travailler ces matériaux, éventuellement à les usiner, à les percer, à les couper pour les mettre à dimension, pour leur donner leur forme finale qui va arriver chez le consommateur, qui sera la personne exposée suivante.

Il y a donc toute une chaîne d'exposition, mais le consommateur, une fois qu'il a fini d'utiliser ce produit, va s'en débarrasser et le jeter dans la chaîne de traitement de déchets. Dans cette chaîne, on retrouve de nouveau des salariés qui vont être exposés à quelque chose mais, pour le coup, ils ne savent plus du tout ce qu'il y a dedans. Nano... Il y en a peut-être ou peut-être pas, je n'en sais rien, mais en tout cas, on va essayer de transformer ce déchet en autre chose. Soit on le recycle, on fait des transformations si l'on sait ce que c'est, soit on ne sait pas ce que c'est et cela va passer à l'incinérateur ou dans d'autres procédés de destruction. Dans ce cas, on va libérer à nouveau les nanos. Peut-être qu'elles s'aggloméreront, sait-on jamais... En tout cas, les salariés seront exposés et ils ne le sauront même pas.

On le voit sur la chaîne : la situation CEA est la situation idéale. Je suis quasiment dans un laboratoire de recherche, je sais de quoi je parle et ce sur quoi je travaille. Je vais pouvoir identifier les salariés qui sont exposés aux nanomatériaux, peut-être même aller jusqu'à faire un tri en disant : «Le salarié qui a ce poste de travail est exposé, mais celui qui est sur le poste voisin l'est moins, voire ne l'est pas». Cela veut dire que j'aurai fait une protection collective qui sera efficace ou que j'aurai mis en place des protections individuelles efficaces.

Je vais avoir une pseudo-traçabilité, parce que j'aurai dans le dossier médical une note disant que j'ai été exposé... A l'occasion de cette visite, je pourrai dire que j'ai été exposé (ou mon employeur pourra dire que j'ai été exposé à des nanomatériaux), mais je n'ai pas naturellement accès au dossier médical, donc je ne le saurai pas plus que cela.

Je vais donc le savoir à travers le document unique d'évaluation des risques qui est de la responsabilité de l'employeur et que je pourrai consulter. Encore faut-il que l'employeur sache évaluer le risque. Nous avons vu tout à l'heure qu'il ne savait pas l'évaluer, dans la plupart des cas.



Il ne sait pas le faire, parce qu'il n'a pas les Fiches de Données de Sécurité qui lui permettent de le faire et parce que, souvent, plus ils se développeront et moins il saura que dans les matériaux qu'il utilise, il y a des nanomatériaux inclus, intégrés. Plus cela ira et moins on le saura ; plus ils seront développés et moins on le saura, puisque cela deviendra de plus en plus banal.

La protection des salariés est un ensemble qui ne s'arrête pas à la fabrication ou à la recherche ; cela va bien au-delà de cela. Cela implique - j'ai cru l'entendre tout à l'heure dans le petit film de présentation - déjà plusieurs millions de travailleurs, des personnes qui savent ou ne savent pas qu'elles sont exposées. Celles qui le savent sont dans de bonnes situations : elles peuvent se protéger ou, du moins, elles peuvent utiliser les moyens de protection que l'on met à leur disposition.

Là encore, rien ne garantit que ces moyens de protection soient complètement adaptés. Nous avons parlé tout à l'heure du confinement. On ne met pas le salarié au contact avec les nanomatériaux... Cela arrivera un jour, parce qu'il faudra entretenir la machine et il sera bien au contact à un moment donné. Il faudra nettoyer les machines ou les filtres, quand il y en a. Lorsque l'on porte un masque de protection, on le jette. Il est peut-être saturé de nanomatériaux ; il passe alors dans la filière déchets, directement, et cette filière n'est peut-être pas informée qu'elle est en contact avec des nanomatériaux. Vous voyez que c'est assez complexe. Je ne m'étendrai pas plus : je préfère répondre aux questions.

32

(Applaudissements.)

M. BERGOUGNOUX. - Je vous remercie.

M. DELESTRE. - Mon nom est Daniel DELESTRE. Je suis aussi de la SEPANSO. Je suis aussi ingénieur chimiste et il se trouve que j'ai travaillé pendant de nombreuses années dans un établissement où l'on manipulait de l'amiante.

Je dois dire que plusieurs de mes collègues sont décédés des contacts de l'amiante, vingt ans après les faits. C'est la raison pour laquelle je suis particulièrement sensibilisé par cette affaire de nanotubes de carbone.

J'ai entendu deux représentants du patronat nous dire de ne pas avoir peur... Un directeur d'entreprise nous a dit : «Vous savez, le carbone est naturel. Il y en a dans l'atmosphère, on en respire. Ce n'est pas dangereux». Monsieur le directeur oublie peut-être que le carbone, sous forme d'oxyde de carbone, est mortel à quelques ppm.

J'ai entendu un médecin du travail dire : «Ce n'est pas grave, les nanoparticules sont enrobées. Vous ne risquez rien ».

Je trouve que nous n'avons pas trop de raisons d'avoir confiance en ces propos, d'autant plus que je tiens à vous transmettre des informations du Bureau européen de l'Environnement, auquel appartient la SEPANSO FNE.



européen de l'Environnement fédère toutes les associations environnementales d'Europe. Selon lui, il est clair que certains nanotubes de carbone, comme l'a rappelé le professeur BROCHARD, en fonction de leur dimension très proche des caractéristiques de l'amiante, ont toutes les raisons de provoquer des réactions d'inflammation identiques auprès des travailleurs. C'est un premier élément de réponse.

Voici un autre élément de réponse. Le médecin du travail nous a dit qu'il n'y a pas de risques que des nanoparticules enrobées soient dangereuses. C'est faux. Est-ce que l'amiante n'était pas enrobée dans du ciment ? Des années après, des travailleurs sont touchés.

Lorsque je vois ces deux éléments de réponse ou ces arguments apportés par le représentant du patronat, je dis que l'on a toutes les raisons de s'inquiéter. Je dis aux travailleurs et aux syndicats présents ici qu'ils ont toutes les raisons non seulement de demander des comptes aux représentants du patronat, mais aussi de demander une expertise contradictoire à l'Etat. Les propos du patronat ne sont pas crédibles.

J'ai vécu auprès de camarades... On nous a dit pendant des années que l'amiante n'était pas dangereuse et vingt ans après les faits, certains sont à l'hôpital en train de crever.

(Applaudissements.)

33

M. DOMINGUE. - Je suis Jean-Paul DOMINGUE (?), pour la CGT au niveau départemental. Tout ce que l'on entend ne fait que confirmer notre inquiétude par rapport à ce que vient de dire M. LEVY, selon lequel apparemment cela ne serait pas dangereux. Quand on a vu ce qui s'est passé avec l'amiante et, plus récemment, avec les fibres céramiques réfractaires, cela s'est terminé par la mort des salariés exposés. Nous sommes donc inquiets.

J'ai entendu «réglementation» et «Code du Travail»... Aujourd'hui, des textes existent, mais sont-ils bien adaptés à ce dont nous parlons ? La plupart des entreprises qui travaillent actuellement dans le domaine des nanotechnologies sont des PME ou des TPE. Quand on parle de CHSCT, on parle d'un minimum de 50 salariés. Est-ce que le législateur ne devrait pas peut-être revoir ces données ? Il me semble qu'il est important de tenir compte de tout cela.

Dans l'entreprise, s'il y a des CHSCT, ils n'ont pas droit à l'information, à la consultation qu'ils devraient avoir. J'ai entendu parler de FDS (Fiche de Données de Sécurité). Il y a déjà des FDS pour les produits d'entretien... On a déjà du mal à les obtenir et lorsqu'on y arrive, on a du mal à ce que le médecin du travail les possède, puisse les lire et les analyser... Quand on est dans le risque invisible, c'est encore plus difficile que dans le risque visible.

Pour nous, la CGT, il faudrait donner de véritables moyens et le contre-pouvoir du côté des salariés. Cela passe par les instances représentatives du



personnel qui devraient avoir de vrais moyens d'évaluer les risques, comme tout le monde.

M. LABRE. - (?) Je suis consultant RH. Je voudrais que les représentants du patronat présents ce soir et les industriels me disent comment ils vont aborder la responsabilité sociale et environnementale ou sociétale (la RSE) et la future norme non contraignante ISO 26 000 qui est en préparation au niveau international, sur l'information des parties prenantes, tant au niveau des voisins, que de celui du cycle de vie du produit, des travailleurs... Comment vont-ils aborder cet aspect ? Je vous engage à réfléchir autour de la responsabilité sociale, sociétale, sociale et environnementale ou sociétale et environnementale... Là, cela touchera toutes les entreprises, il n'y aura pas d'effet de seuil.

J'aimerais bien avoir une réponse : tout à l'heure, je n'ai pas eu réponse à la deuxième partie de ma question, par rapport aux laboratoires et à la recherche, lieux confinés, sur l'élimination des déchets. On a longtemps su tous les risques de santé qu'il y a eu parmi les chercheurs et du personnel accompagnant, du personnel de la logistique (du nettoyage, etc.). Reprenons déjà les éléments autour de la radioactivité, autour des fibres de céramique... Je n'ai pas eu de réponse tout à l'heure !

Mme JARRY. - Nous pourrions voir cela dans la deuxième séquence, puisqu'il y aura justement des chercheurs.

M. BLOCH. - Effectivement, Monsieur, tout à l'heure je n'ai pas répondu à votre question parce que je n'en ai pas eu le temps, mais je vais réparer cet oubli tout de suite.

Cette question des déchets est une question que nous avons regardée avec beaucoup d'attention. Je peux vous dire très simplement comment nous faisons chez nous : tous les produits et substances qui ont pu être nano ou être en contact avec elles sont traités à part. Ils sont recueillis avec des récipients spéciaux identifiés comme tels et évacués comme des produits chimiques dangereux. Ils sont ensuite renvoyés chez notre éliminateur de produits chimiques dangereux.

Dans la salle. - Et alors ?

M. BLOCH. - Vous avez raison de poser la question. Nous sommes allés voir notre éliminateur de produits dangereux et nous avons regardé avec lui quelle était la filière d'élimination qu'il mettait en place. Nous avons ensuite examiné si cette filière était susceptible, sur nos déchets nanos, de faire disparaître la spécificité nano de nos produits : c'était le cas pour la majorité de nos produits, sauf un ou deux, pour lesquels nous avons une filière spécifique.

Je prendrai un exemple très simple. Vous prenez des nanotubes de carbone, vous les recueillez d'une façon spécifique et vous les faites évacuer comme produits chimiques dangereux. Ils vont être incinérés à 1 200 ou 1 300 degrés. Or, tout le monde sait qu'un nanotube de carbone brûle aux



alentours de 500 degrés. Nous nous sommes donc assurés en aval, au niveau de l'éliminateur, que la filière de déchets faisait disparaître le risque nanospécifique.

M. LABRE. - Vous avez donc une bonne pratique. A généraliser !

M. BLOCH. - Nous allons effectivement essayer...

M. MARIADE. - Je m'inquiète aussi. Je ne suis plus travailleur, mais à la retraite.

Une fois que l'on a fabriqué des nanoparticules, c'est bien, mais on va les emmener ensuite chez quelqu'un d'autre. Concernant les personnes qui se trouvent près des routes, des moyens de transport, si un jour un accident se produit, quelle précaution a-t-on prise pour ces riverains ? Leur environnement sera encore pollué.

Quand on entendait ici notre secrétaire d'Etat qui parlait du Grenelle de l'Environnement et qui voulait que l'on traite les microparticules, les 2 500 nanomètres, par exemple, que fait-on pour cela ? Le PNSE (le Plan national Santé-Environnement) aussi s'intéresse à ces problèmes. Voici ce que stipule la Charte européenne de l'Environnement et de la Santé : *«Chaque individu a droit à un environnement compatible avec le niveau de santé et de bien-être le plus élevé possible, à l'information sur l'état de l'environnement et sur les programmes, décisions et activités susceptibles d'agir sur l'environnement et sur la santé, et à participer au processus de prise de décisions»*.

35

Le débat public s'inscrit dans une prise de décision, certes, mais concernant l'environnement et l'accompagnement, le fait de savoir que des camions transportent des nanoparticules... Certaines d'entre elles, par exemple, sont mélangées avec des HAP... Le Predit, notamment, ainsi que des études ont montré que cela menait vers le cancer.

Avec des nanoparticules mélangées à ces benzènes, est-ce que l'on ne risque pas de voir évoluer chez les riverains des grandes routes des risques de cancer ? Maintenant, Messieurs les spécialistes, c'est à vous de me répondre.

J'ai malheureusement aussi été sous les bombes atomiques et, à l'époque, les précautions... Heureusement, je travaillais un peu loin, je n'ai pas été directement sous les rayonnements. J'étais près des laboratoires aussi, parce que de par mon métier (j'étais frigoriste) j'intervenais sur les climatisations : j'espère que j'ai encore quelques années à vivre, car là aussi, on ne parlait pas trop des précautions à l'époque...

M. BERGOUGNOUX. - Merci.

M. ALAIN. - Je suis Didier ALAIN, de la CFDT Aquitaine. Ce débat a des aspects un peu surréalistes. Je ne reviendrai pas sur les propos de mon collègue de la CGT sur le fait que, dans les entreprises, les CHSCT ne sont vraiment pas



informés et qu'en termes de moyen, on est totalement limité. J'interviendrai sur les aspects régionaux.

Il est presque curieux, voire scandaleux, que l'on choisisse l'Aquitaine pour parler de l'aspect santé des travailleurs avec les nanoparticules, alors que l'on sait que la Commission régionale des Risques professionnels ne s'est pas réunie depuis deux ans.

Cela pose déjà deux problèmes :

- la reconnaissance des partenaires sociaux pour intervenir sur ce domaine en matière de santé au travail hors de l'entreprise, au niveau régional,
- l'aspect des réglementations, puisque ceux qui sont chargés de respecter la réglementation s'assoient ainsi dessus.

Je voudrais parler des aspects de vigilance. Nous avons un système où il n'y a strictement aucune vigilance ou bien, à certains niveaux, elle est embryonnaire.

Nous avons entendu l'exemple donné par cette personne qui est intervenue avant moi sur l'amiante. Aujourd'hui encore, il n'y a pratiquement pas de déclaration de maladies professionnelles liées à l'amiante proportionnellement au nombre de cas. Il n'y en a pas non plus concernant les maladies à caractère professionnel. J'en parle en connaissance de cause, puisqu'en tant qu'infirmier, j'ai vu un certain nombre de personnes mourir de mésothéliomes, de bronchopathies liées à l'amiante et aucun n'a été - sauf exception - déclaré en tant que maladie professionnelle ou en tant que maladie à caractère professionnel.

Ce problème est posé en termes de structuration de cette vigilance, puisqu'au niveau des fonctions publiques, territoriales, hospitalières ou d'Etat, elle est nulle. Au niveau des salariés du régime général ou du régime agricole, elle est pour le moins embryonnaire.

Autre exemple : concernant l'amiante, on savait depuis cent ans que c'était dangereux, mais on a mis un certain nombre d'années à l'interdire...

Prenons un produit qui n'était *a priori* pas dangereux et qui était considéré comme fantastique : le latex. Les premiers gants en latex ont été inventés en 1889. En 1973, on a commencé à découvrir des problèmes d'allergie et tout notre système de vigilance en France est passé complètement à côté. Il a fallu avoir des informations venant de Finlande ou des Etats-Unis pour mettre en place un processus.

Que l'on fasse des recherches sur les risques professionnels provoqués par les nanoparticules, soit, mais à côté nous n'avons aucun moyen de savoir à



quel moment il pourrait y avoir un problème. Nous n'avons mis en place aucun système de vigilance particulièrement efficace.

C'est la raison pour laquelle ce débat, sur certains aspects, me paraît totalement surréaliste, compte tenu de l'état actuel de notre système de vigilance et de réactivité.

(Applaudissements.)

M. BLANC. - Je suis Alain BLANC. J'ai participé à l'élaboration du Plan départemental des ordures ménagères, sur lequel nous assurons un suivi. J'ai également participé à l'élaboration du Plan de Réduction et d'Élimination des Déchets Dangereux en Aquitaine.

Dans ces deux plans, je regrette qu'il n'y ait rien, absolument rien de prévu au niveau des nanoparticules. Quand j'entends dire que l'on incinère, peut-être, mais on sait que l'incinération ne détruit que partiellement ; il y a toujours des imbrûlés.

Au niveau de l'industrie et de la personne qui s'exprimait tout à l'heure en disant que ces déchets étaient bien traités, j'aimerais bien que la collectivité puisse dire si, effectivement, ce monsieur traite correctement ou pas ce type de déchets. Il le dit : je veux bien le croire, mais j'aimerais qu'à un moment il y ait un contrôle.

Or, ce contrôle ne peut pas se faire, en particulier au niveau du PREDAT (?), puisque je n'ai jamais vu ces industries présentes. Dans le cadre de l'élaboration, les industriels sont présents. Or, je n'ai jamais vu un industriel venir aux réunions et dire : «Nous faisons des nanotechnologies, nous produisons des nanomatériaux et voici ce que nous proposons pour leur retraitement».

Pour terminer, concernant l'exemple des chaussettes ou des produits d'usage courant qui vont terminer dans notre poubelle, que va-t-on en faire ? Qui peut dire ce qu'ils vont devenir ? Personne ! Même si l'on arrive à les définir avec une réglementation comme déchets dangereux de ménage, dans la mesure où rien n'est prévu pour leur retraitement, aucune solution n'est proposée. Si l'on n'a pas de solution pour le retraitement, on ne fabrique pas.

(Applaudissements.)

Mme LARRIEU. - Un certain nombre d'interventions ont évoqué la question de l'information des acteurs. Évidemment, pour assurer la traçabilité, il faut d'abord qu'il y ait une information.

Sur ce sujet, cela a évidemment été débattu par les groupes de travail du Grenelle de l'Environnement, puis par le Comité opérationnel. Un texte de loi a été voté cet été ; un autre est en cours de débat à l'Assemblée. Il ne répond pas à toutes les questions, notamment à celle qui vient d'être évoquée concernant les



chaussettes et la filière de retraitement pour ces déchets. En revanche, il répond à certains autres points évoqués.

Je passe la parole à M. BAILLY de la DGPR (Direction Générale de la Prévention des Risques). Il va vous dire exactement ce qu'il y a en termes d'information et d'obligation de déclaration dans les textes qui viennent d'être votés et qui sont en cours d'examen à l'Assemblée.

M. BAILLY. - Merci. Bonsoir à toutes et à tous. Voici ce que dit le Grenelle de l'Environnement. L'article 42 de la loi Grenelle 1, qui pose les principes généraux, prévoit le principe pour les fabricants, les importateurs et les utilisateurs de nanomatériaux d'une déclaration obligatoire aux autorités. Bien sûr, le citoyen lambda aura connaissance de ces usages et c'est extrêmement intéressant pour définir ensuite une politique de gestion des risques.

Concrètement, concernant la loi Grenelle 2, cela se transcrit au travers de l'article 73 qui a été débattu au sein du Sénat. Il est probable également que les parlementaires au sein de l'Assemblée Nationale puissent amender le projet. Toujours est-il que les principes généraux sont posés. Il faut absolument souligner qu'il n'y a pas d'effet de seuil : à partir du premier gramme, il y aura obligation de déclarer les quantités mises sur le marché, fabriquées et importées. C'est très important pour aller de l'avant.

Concernant les Fiches de Données de Sécurité, il faut bien comprendre qu'elles existent depuis longtemps. Elles ont vocation à se perfectionner avec le temps et je pense que le règlement REACH va donner des éléments de réponse. Patrick LEVY a souligné ce point extrêmement important qu'est la transmission de l'information au sein de la chaîne d'approvisionnement.

Autrement dit, un client, un utilisateur d'une substance devra faire remonter l'usage qu'il en fait et celui qui la fabrique ou l'importe devra définir des mesures de gestion du risque pertinentes pour avoir un risque acceptable.

La Fiche de Données de Sécurité est un élément essentiel de la transmission du savoir pour que les travailleurs, les opérateurs puissent avoir les éléments d'information pertinents pour mettre en œuvre les mesures de gestion du risque.

Par rapport aux FDS, prochainement - nous l'espérons en tout cas - au niveau communautaire (je pense que les autorités françaises iront dans ce sens) sera indiquée dans les Fiches de Données de Sécurité la taille des substances mises sur le marché.

Il devrait y avoir un vote en «comitologie». Il s'agit d'un vote entre les Etats membres pour faire évoluer une annexe du règlement (à savoir l'annexe 2). Cela devrait être voté la semaine prochaine.

Nous espérons de tout cœur pouvoir évoluer dans le perfectionnement de ces Fiches de Données de Sécurité.



En matière d'étiquetage (d'ailleurs, la loi Grenelle 2, au niveau de son article 73, ne prévoit rien sur le sujet, c'est une déclaration auprès des autorités publiques), il faut souligner ce qui se fait au niveau européen, notamment dans le domaine des cosmétiques. Je pense que vous en avez discuté à Orléans.

M. BERGOUGNOUX. - Oui. Nous en avons discuté aussi à Strasbourg.

M. BAILLY. - Il s'agit donc d'un sujet rémanent et il est extrêmement important. On s'aperçoit que les réglementations sectorielles imposent de plus en plus un étiquetage pour que le consommateur puisse savoir si son produit contient des nanomatériaux.

C'est le cas en cosmétique. En matière de biocides (puisque dans ce domaine, on peut imaginer que des nanomatériaux à base d'argent puissent être incorporés dans des chaussettes, par exemple, à des fins désinfectantes), un projet de règlement qui révisé une directive un peu ancienne prévoit un étiquetage des articles contenant des biocides.

On voit bien que l'on va de manière assez convergente, en tout cas au niveau du corpus réglementaire européen, vers une obligation d'étiquetage à moyen terme.

M. BERGOUGNOUX. - Je vous remercie.

M. ROSSIGNOL. - Bonsoir. Je suis Clément ROSSIGNOL. Je vous remercie de me donner la parole. Je suis chercheur en nanotechnologies ; par ailleurs, je suis élu écologiste à la communauté urbaine de Bordeaux et à la ville de Bègles.

Je voulais remercier M. MONTELEON d'avoir ouvert le débat. La protection des travailleurs ne concerne pas seulement ceux qui fabriquent les nanoparticules mais l'ensemble de la chaîne. Une des problématiques principales est le retraitement et là nous sommes vraiment dans le flou artistique.

Au niveau de la réglementation REACH, elle ne s'applique pas pour l'instant aux nanoparticules, puisqu'elle concerne des produits chimiques ; or, les nanoparticules ont une réactivité physique. C'est un effet de forme, de taille, comme l'a très bien expliqué M. BROCHARD. Pour l'instant, il y a là un vide juridique. D'ailleurs, il y a un effet de seuil : pour que la réglementation REACH s'applique, il faut produire une certaine quantité de produits (plusieurs tonnes, me semble-t-il).

M. BERNARD. - Une tonne.

M. ROSSIGNOL. - Il y a plusieurs niveaux d'application de la procédure REACH. Concernant les nanoparticules, une tonne, cela commence à en faire beaucoup...

S'agissant de la compétitivité des entreprises, on nous explique que si l'on n'y va pas, on «rate le train», que l'on sera à la traîne et que c'est donc la fin de l'économie française. C'est exactement le même débat que nous avons eu, et que nous avons encore, sur les OGM.



Nous voyons qu'au niveau européen, une majorité de citoyens disent non aux OGM. Pour l'instant, concernant l'économie européenne, même si elle n'est pas très bien en point puisque c'est le fait de l'économie mondiale, ce n'est pas pour cela qu'il y a un vide au niveau économique européen.

On peut donc avoir le même débat au niveau des nanoparticules, puisque, ce soir, il s'agit plutôt de «Nanoparticules et nano-objets et protection des travailleurs» et non «Nanotechnologies», parce que l'on passe complètement sous silence la miniaturisation des puces RFID, des caméras, la convergence NBIC... Vraiment, concernant le sujet, on prend une petite partie qui est très intéressante... Par exemple, le croisement entre nanotechnologies et biotechnologies, où un employeur pourra avoir le patrimoine génétique d'un postulant très rapidement, pour quelques dollars... Cela pose des questions de société très fortes. Ce soir, le sujet est donc plutôt : «Nano-objets et protection des travailleurs...»

M. BERGOUGNOUX. - Tout à fait...

M. ROSSIGNOL. - Enfin, j'aimerais poser une question à M. BERNARD d'Arkema. Nous avons entendu une explication complète sur la production des nanotubes de carbone. Combien de produits en France contiennent ces nanotubes de carbone et sous quelle forme ? Peut-on les acheter ? Sont-ils des produits de consommation grand public ? C'est finalement un peu cela la question. Que deviennent-ils ? Comment sont-ils recyclés ? Combien de tonnes de nanotubes de carbone par an ARKEMA et les autres sociétés produisent-elles et dans quelles conditions ? Dans la conception des produits contenant des nanotubes de carbone, y a-t-il une obligation de retraitement ? Je vous remercie.

40

Dans la salle. - Ce n'est pas le sujet de ce soir, mais j'ai envie de poser la question : et si l'on s'en passait, tout simplement ?

J'ai travaillé dans l'agriculture et dans l'hydraulique pendant quarante ans. Concernant les OGM, je pense que je ne serai pas mort quand on n'en parlera plus et je parle sérieusement.

A mon avis, concernant ces modes qui s'emparent de la technologie, (je ne parlerai pas des ordinateurs qui fonctionnent à la milliseconde pour gagner un euro sur des milliards qui partiront en fumée à la bulle suivante...), on peut très bien se poser la question, ce n'est pas complètement idiot. Au lieu de céder à une pression extraordinaire du marché au prétexte que, sinon, on perdrait la course contre je ne sais quelle petite boîte bloquée aux Etats-Unis ou au Japon, on pourrait très bien s'en passer.

Ce qui me frappe, c'est que l'on remet la solution entre les mains des consommateurs : c'est la pire des situations. Mettez-vous à la place d'un travailleur ou d'un agriculteur sénégalais qui va devoir sa survie dans cent ans à la prescience de quelques bobos réunis dans cette salle, parce qu'ils auront refusé



d'acheter des nanoparticules. C'est le summum de l'absurdité. Si l'on veut vraiment une santé publique, elle est pour tout le monde et sans avoir un choix de consommateurs.

(Applaudissements.)

M. BERGOUGNOUX. - Je vous remercie.

M. BARBEDIENNE. - Je m'appelle Philippe BARBEDIENNE. Je suis citoyen et aussi membre de la SEPANSO, une association qui regroupe un certain nombre de protecteurs de l'environnement.

D'abord, je partage un peu l'avis de Simon CHARBONNEAU : un débat public qui traite d'une décision une fois que le coup est parti peut donner l'impression de ne pas servir à grand-chose.

J'ai tout de même un côté optimiste et je me dis que cela aura servi à quelque chose : un certain nombre de personnes dans cette salle sauront maintenant de quoi elles risquent de mourir plus tard. Cela a donc une certaine utilité.

Concernant les nanoparticules, je suis stupéfait. Je rejoins certaines interventions précédentes : j'entends dire que c'est indispensable, qu'il y en a partout. D'un côté, on me dit que c'est très surveillé, que de toute façon on va gérer nos déchets et les brûler, que le carbone disparaîtra, etc. De l'autre côté, on nous dit qu'il y en aura dans les objets de tous les jours, les téléphones portables, les vêtements, les chaussettes.

Très honnêtement, je m'en fiche complètement qu'il y ait cela dans ces produits, au contraire. Cela me gêne énormément de savoir que des travailleurs risquent de perdre leur santé pour produire des éléments de ma consommation qui me sont totalement inutiles. En tant que citoyen, cela ne m'apporte rien, que des soucis et de l'angoisse pour plus tard.

(Applaudissements.)

M. WITSCHGER. – Je suis Olivier WITSCHGER : je travaille à l'INRS et mon domaine de spécialité est la mesure des expositions.

Je voudrais rapidement vous dire deux mots sur l'INRS, parce que je ne suis pas sûr que tout le monde connaisse cet institut. Je donnerai également quelques éléments relatifs à l'exposition professionnelle. Nous avons beaucoup parlé de toxicité, mais l'on n'a pas dit grand-chose sur l'exposition.

L'INRS est l'institut référent en France en termes de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles. Notre statut est une association loi 1901, sans but lucratif. Nous sommes gérés par un Conseil d'Administration constitué à parité par un collège représentant les employeurs et les employés. Notre budget provient quasiment exclusivement d'un fonds national



de prévoyance géré par la Caisse nationale d'Assurance Maladie Travailleurs salariés.

Il est important de le préciser, car ce mode de financement nous conduit à ce que, finalement, nos recherches aient une indépendance. Cela signifie que les résultats de nos recherches sont rendus publics par différentes voies : la communication scientifique, différentes documentations, etc.

Une spécificité de cet institut dans lequel je travaille est la connaissance du monde du travail. Nous sommes ici sur une problématique de risques chimiques et l'historique que nous avons, en termes de caractérisation du risque dans le domaine de la prévention du risque chimique, est un atout très important.

(Projection)

Enfin, pour aborder cette question, il faut avoir des compétences très variées. Nous avons parlé de médecine : il faut des biologistes, des physiciens et des chimistes. Cela pose même des questions aux sociologues du travail. On est capable et l'on met en œuvre toutes ces compétences dans le cadre d'un programme pluridisciplinaire et transversal, avec trois objectifs très clairs :

- évaluer les effets sur la santé,
- évaluer les expositions professionnelles, car c'est l'autre élément dans la composante du risque,
- la prévention des risques.

Pour vous rassurer, je dirai que, fort heureusement, on connaît les moyens de protéger les travailleurs. Je ne sais pas si les personnes dans la salle se posent la question de l'efficacité du filtre ou du masque respiratoire, mais cela fonctionne pour les nanoparticules. Se pose bien entendu la question d'utiliser les bons moyens au bon endroit. C'est le côté rassurant.

Concernant l'exposition professionnelle, il faut considérer beaucoup d'éléments. La question des scénarios d'exposition a été un peu abordée.

Concernant les nanoparticules, on a indiqué la taille de 100 nanomètres, mais ce qui pose problème, ce sont toutes les particules susceptibles d'être inhalées. En termes de diamètre, cela va bien au-delà des 100 nanomètres.

Ensuite, on a parlé de manipulations des nanoparticules (sous-entendu sous forme de poudre), mais lorsqu'elles sont, par exemple, dans des suspensions liquides, on peut très bien se retrouver avec des situations où l'on va émettre des nanoparticules dans l'air.

Se pose également la question de manière très sérieuse du relargage de nanoparticules lorsqu'elles sont incluses dans des matrices, par exemple. On a parlé de l'abrasion, etc. Cela concerne tout le cycle de vie des nanomatériaux.



Comment se caractérise l'exposition professionnelle ? Un certain nombre d'éléments sont actuellement très peu discutés. Quels sont les critères de mesure ? En fait, on travaille de manière très proche avec les gens de la toxicologie. Les toxicologues nous disent que la taille est importante, la forme également, etc. Cela remet très profondément en cause la manière dont on évalue l'exposition professionnelle.

Quels sont les instruments ? Quelles sont les méthodes ? Il y a des instruments, qui sont coûteux et complexes à mettre en œuvre et il y a vraiment besoin de développement de méthodes.

Quelle stratégie ? Il s'agit de voir comment utiliser ces instruments. Des travaux sont également en cours sur ce sujet. Il faut aussi parler de la notion de valeur limite. A partir du moment où l'on fait une mesure, il va falloir se comparer à une valeur. En France, nous ne sommes pas très avancés sur ce point.

Je donnerai un exemple concernant le dioxyde de titane. Actuellement, en France, la valeur limite d'exposition est de 10 milligrammes par mètre cube. En novembre 2005, il y cinq ans, un institut homologue aux Etats-Unis a produit un document sur une analyse de dioxyde de titane, recommandant une valeur 100 fois plus faible que la valeur limite en France. Il y a là matière à réflexion...

La connaissance de l'exposition professionnelle passe obligatoirement par des études de terrain. Nous les menons également et nous ne sommes pas les seuls en France. Nous les menons en partenariat avec les entreprises et les laboratoires de recherche, car il faut bien qu'ils nous ouvrent les portes. Cela se passe bien avec certaines entreprises et moins bien avec d'autres. Ces données sont très importantes, puisque cela va permettre à l'avenir de réaliser des études en épidémiologie.

Enfin, tout cela doit se faire dans un cadre européen, voire international.

Je terminerai par un élément de réponse à la première question qui avait été posée, sur la part du risque dans les études et recherches. Grosso modo, l'échelle est que l'on est deux ordres de grandeur, en termes de budget par rapport aux investissements sur les développements des nanotechnologies sur les études risques. Sur la partie exposition, on est encore deux ordres de grandeur au-dessus.

Si l'on compte le nombre de publications, ce n'est pas 100 sur les trois derniers mois, mais 10 sur les deux dernières années.

M. BERGOUGNOUX. - Merci. Je ne sais pas si vous êtes capable de répondre en deux minutes aux questions de M. ROSSIGNOL. Cela me paraît difficile, mais brièvement...

M. BERNARD. - Je répondrai au moins à une question, puisque nous avons donné cette réponse ce matin à la Direction générale de la Santé et de la Consommation à Bruxelles, où se tient un grand colloque sur deux jours



«NanoSafety for Success Dialogue». Toutes les nanoparticules sont passées en revue et font l'objet de colloques pendant ces deux jours.

Voici la réponse sur les nanotubes de carbone : en Europe, les capacités de production sont comprises dans une fourchette allant de 30 à 200 tonnes/an de nanotubes de carbone. Je parle bien de capacité de production. La production réelle est de quelques dizaines de tonnes au maximum et la commercialisation se fait essentiellement hors d'Europe.

Quant à savoir combien il y a de nanotubes de carbone en kilos dans des articles de sport circulant en France, je ne suis même pas sûr que l'on puisse parler de kilos actuellement.

En revanche, toutes les batteries lithium-ion contiennent des nanotubes de carbone produits par un fabricant japonais depuis pratiquement vingt ans. Vous n'y pouvez rien : c'est un fait. Cela, ils ne le savaient pas.

Il faut bien en être conscient : on parle de nanos maintenant, mais cela a existé avant que l'on ne sache le mesurer, cela existe naturellement. Je ne répéterai pas ce qui a été dit moult fois dans tous les séminaires nanos (on a parfois l'impression de se répéter, mais ce n'est pas toujours le même auditoire) : même les Grecs et les Romains utilisaient des nanoparticules pour colorer le verre. Ce n'est pas nouveau.

La grande révélation a été le microscope à force atomique qui a permis de voir ce que l'on faisait avant et que l'on ne savait pas. On faisait des nanos comme M. Jourdain faisait de la prose.

Une personne a parlé d'un film tout à l'heure. Un autre film sera projeté sur France 5 : «Bienvenue dans le nanomonde». C'est un quatre fois 52 minutes. J'ai pu voir ce film en DVD, il est assez intéressant. J'espère qu'il sera projeté avant la fin de l'année : il pose des questions et apporte des réponses. Il pose aussi des questions fondamentales en expliquant d'où vient la notion de nano. Ce n'est pas venu du jour au lendemain, il ne faut pas croire que c'est une génération spontanée.

M. BERGOUGNOUX. - Nous allons arrêter là cette séquence. Je remercie les panélistes, ainsi que tous les intervenants. Sans doute certains n'ont-ils pas trouvé la possibilité de s'exprimer. J'ai ici des questions écrites auxquelles il n'a pas toujours été répondu. Elles apparaîtront sur le site et l'on s'efforcera d'y répondre aussi précisément que possible.

Merci à tous.

(Applaudissements.)



Des nanosciences aux nanotechnologies

Mme JARRY. - Une seconde séquence va commencer. Nous allons essayer d'être plus brefs, plus simples, plus accessibles et de faire en sorte que ce soit aussi vivant que possible.

Merci à tous ceux qui sont restés, même si beaucoup sont partis...

Cette séquence s'appelle assez sérieusement «Des nanosciences aux nanotechnologies». L'idée était de vous présenter quelques chercheurs. On parle toujours de ces chercheurs qui sont dans leurs laboratoires et qui «bidouillent» on ne sait trop quoi : ils vont nous dire justement ce qu'ils font.

Il nous a semblé intéressant de parler de ceux qui sont à la base de toutes ces nanotechnologies, car il n'y aurait pas de nanotechnologies s'il n'y avait pas de développement des nano-objets dans les laboratoires.

Sont présents Philippe POULIN et Cécile ZAKRI, du centre de recherche Paul Pascal. Vont s'exprimer également Etienne DUGUET, qui travaille à l'Institut de Chimie de la Matière condensée (ICMCB), ainsi que le représentant d'une petite entreprise, David JACOB, qui dirige Cordouan Technologies, qui travaille à des solutions pour la mesure de taille des nanoparticules en voie liquide, si j'ai bien compris.

Je vais leur laisser la parole très vite. L'idée est que vous puissiez leur poser des questions précises sur leurs travaux, leurs objectifs, la manière dont cela commence et ce sur quoi cela débouche.

M. POULIN. - Merci à vous de rester aussi tardivement.

Avant de décrire nos travaux, je voudrais rappeler quelles sont nos missions, en tant que chercheurs CNRS. Nos missions premières consistent à développer la connaissance, rechercher de nouvelles propriétés de la matière et aussi communiquer ces nouvelles propriétés. Nous sommes d'ailleurs évalués sur ce que nous publions et communiquons, pas sur ce que nous cachons.

Il s'agit donc avant tout de chercher de nouvelles propriétés et de les communiquer.

Il se peut qu'au cours de ces recherches l'on trouve des opportunités technologiques. Là, selon leur personnalité et leurs envies, les chercheurs peuvent être intéressés, comme c'est mon cas, par ces transferts technologiques autour des nanotubes de carbone. Je m'investis beaucoup dans des projets technologiques autour des nanotubes, notamment en collaboration avec Arkema.



Nous travaillons aussi sur des projets en amont qui ne sont pas spécifiquement à visée technologique sur les nanotubes. Je remercie M. BERNARD pour sa description des nanotubes de carbone.

Je parlerai du contexte des travaux qui nous intéressent.

M. BERNARD a décrit la façon dont les nanotubes de carbone étaient synthétisés. Au centre de recherche Paul Pascal, nous travaillons plus sur leur utilisation et leur incorporation dans des matériaux. Le mot matrice a été employé tout à l'heure. Effectivement, le nanotube tel quel n'est pas directement utilisable : il faut qu'il soit combiné à une matrice, qui peut être un milieu polymère, un liquide, une peinture, une base ou des fibres. Nous nous intéressons beaucoup à des fibres chargées en nanotubes de carbone.

M. BERNARD a expliqué que les nanotubes avaient des propriétés exceptionnelles. Notre objectif est de passer de ce monde nanométrique, qui est un peu abstrait même pour nous, chercheurs (l'objet nanométrique, on ne le voit pas tous les jours. On a bien sûr accès aux microscopes électroniques, mais ce n'est pas très commun) au monde macroscopique, à notre échelle, en essayant de tirer parti de ces propriétés, en l'occurrence de celles, particulièrement intéressantes, des nanotubes de carbone.

C'est là que l'on travaille la chimie, que l'on manipule les nanotubes pour obtenir des matériaux macroscopiques qui pourront ensuite être utilisés peut-être pour des cadres de vélo, par exemple, mais aussi qui vont nous intéresser tout simplement pour voir quelles nouvelles propriétés peuvent apparaître à partir du moment où l'on a telle particule mélangée à une matrice polymère (plastique, si vous préférez) ou la façon dont elle se comporte dans des solutions.

Tel est le contexte général de nos travaux. Je vais laisser la parole à Cécile et à mes collègues...

Mme ZAKRI. - Bonsoir. Je travaille dans le même laboratoire que Philippe POULIN et nous sommes d'ailleurs dans la même équipe. Nous travaillons tous les deux autour des nanotubes de carbone.

Nous sommes un nombre assez important de chercheurs à nous poser des questions concernant les nanoparticules et les nanotubes de carbone. Comme l'a dit Philippe, nous sommes amenés à communiquer sur ce que nous faisons : nous ne sommes pas dans notre bulle, puisque nous parlons avec les gens, nous communiquons avec d'autres scientifiques. Nous sommes aussi souvent amenés à communiquer avec le grand public, à travers des actions comme la Fête de la Science, où régulièrement les gens viennent nous poser des questions sur ce que nous faisons et nous y répondons très volontiers.

Il y a aussi une exposition à Cap Sciences, où certains sont peut-être déjà allés, où l'on parle aussi des nanoparticules.



C'est un travail d'équipe : nous sommes plusieurs à nous pencher sur les problématiques autour des nanotubes de carbone et à réfléchir ensemble aux débouchés technologiques et aux propriétés de ces particules. Le fait d'être plusieurs donne des visions complémentaires et différentes et cela nous évite, pour ceux qui pourraient le craindre, d'être complètement sclérosés dans une certaine vision des choses. Nous sommes nombreux à réfléchir autour de cela.

Philippe a dit que nous cherchons les propriétés de ces matériaux. Je voudrais revenir sur l'idée de mesure. Nous en avons beaucoup parlé, puisque c'est un point – il ne faut pas s'en cacher – qui sans doute pêche actuellement : comment détecter les nanoparticules et les mesurer ? Nous avons beaucoup entendu parler de traçabilité, d'impact sur l'environnement, etc.

Je voulais dire ceci aux personnes qui demandent un moratoire sur les recherches et sur la connaissance : comment peut-on prétendre trouver les outils de mesure sans rechercher des moyens de mesurer cela ? Ce n'est pas du tout évident de détecter où elles se trouvent et de mesurer les quantités de nanoparticules. Nous travaillons en particulier sur ces aspects. Nous allons chercher à développer des instruments de mesure, des techniques de mesure, à réfléchir aux méthodes qui vont nous permettre de mieux connaître ces particules. Qui dit mieux les connaître, dit mieux les maîtriser et mieux les contrôler. Cela a donc un impact sur la suite des choses.

Je pense que M. JACOB en parlera également, puisqu'il développe aussi des instruments de mesure autour des nanoparticules. Je vais laisser parler Etienne.

M. DUGUET. - Bonsoir à tous. Je travaille dans un laboratoire qui n'est pas très loin du centre de recherche Paul Pascal, qui s'intéresse au domaine des matériaux depuis très longtemps : matériaux pour l'énergie, matériaux magnétiques et matériaux pour l'optique.

C'est une évolution naturelle, ces quinze à vingt dernières années, de voir évoluer les propriétés de ces matériaux avec la taille. Il y a eu un glissement d'un certain nombre de thématiques vers les nanomatériaux.

Je vous parlerai plus particulièrement de ce que l'on fait dans notre équipe. Ce qui excite vraiment les scientifiques par leurs propriétés, ce qui inquiète les toxicologues, ce qui interroge les citoyens - que je suis aussi -, ce sont les nanoparticules.

Ce sont de petits morceaux de matière, qui ont des dimensions nanométriques. Nous allons travailler, en tant que chimistes, à la voie de synthèse de ces nanoparticules. En particulier, l'effort est mis sur la synthèse de ces particules dans des milieux liquides. C'est très exceptionnel de passer par une phase gazeuse, où l'on a le risque de voir ces nanoparticules nous échapper. Elles naissent dans un liquide, elles vivent dans un liquide et elles meurent dans un liquide, parce qu'en général, c'est là qu'au final, lorsque l'on voudra s'en



débarrasser, on rajoutera quelques traces d'acide ou de base, en fonction de la nature de ces particules, pour les dissoudre.

C'est un travail important dans notre laboratoire, qui consiste à développer des voies de synthèse qui permettront de conditionner ces nanoparticules.

Le deuxième point important est de développer la caractérisation des nanoparticules. On a parlé de la taille et de la forme, mais d'autres facteurs sont aussi importants, comme la composition chimique qui, dans le cœur des nanoparticules, est souvent différente de celle à leur surface.

Il est important de comprendre cela, car la réactivité dont parlait le professeur BROCHARD dépend vraiment de ces quelques atomes, qui ne sont pas nécessairement très nombreux, à la surface des particules.

On a une expertise dans ce domaine et on met d'ailleurs à disposition des toxicologues (et en particulier l'équipe du professeur BROCHARD) des nanoparticules pour toutes leurs études ou l'on est capable de leur fournir des lots bien calibrés en taille, en forme, en chimie de surface pour qu'ils puissent mener des études et mieux comprendre les mécanismes.

On travaille aussi sur l'étude des propriétés. Une particule magnétique, dès qu'elle devient suffisamment petite, devient superparamagnétique. L'or, par exemple, dès qu'on va le mettre à l'échelle nanométrique, va émettre de la lumière. Il y a vraiment des propriétés intéressantes et fascinantes à découvrir à ce niveau.

Ma spécialité, ainsi que celle de certains de mes collègues, au sein du groupe, consiste à développer les nanoparticules pour des applications médicales. Ces nanoparticules que l'on a mises initialement, que l'on a fait naître dans un liquide et que l'on va manipuler dans un liquide présentent ces fameuses propriétés dont je vous parlais, mais aussi une autre grande propriété : leur taille. Dans le milieu humain, elles vont nous servir de vaisseaux pour visiter, diagnostiquer, voire traiter certaines pathologies.

Il faut savoir qu'une nanoparticule, qui fait 100 nanomètres, lorsqu'elle arrive à proximité d'une cellule, si elle est capable d'y rentrer, aura un espace à visiter qui est le même que vous lorsque vous êtes rentrés dans cette salle. Elle va pouvoir aller visiter tous les recoins de cette salle (donc les différents éléments qui composent les cellules).

Ces nanoparticules dont je vous parle et qui sont à vocation médicale sont aujourd'hui développées, mais pas du tout en tant que médicament de demain que vous aurez à disposition à la pharmacie ou que vous pourrez même prendre par automédication. Ce sont des nanoparticules qui seront mises à disposition des médecins dans les hôpitaux, car elles seront essentiellement administrées par voie intraveineuse. Il y a donc tout un protocole, etc.



Si elles sont magnétiques, ces particules peuvent par exemple circuler dans le corps. En fonction des endroits où elles vont aller s'accumuler naturellement, elles vont créer un contraste sur les images IRM que le radiologue fera à ce moment-là. Si ces particules sont capables de reconnaître une pathologie particulière, une tumeur (elles sont équipées en surface, les fonctions chimiques sont capables de reconnaître cette tumeur), elles vont circuler dans le compartiment sanguin. Je ne dis pas que c'est simple, car notre système immunitaire est très bien fait, il a beaucoup de processus pour éliminer ces particules et s'en débarrasser, mais si l'on connaît ces mécanismes, on est tout de même capable de les envoyer au même endroit et donc de faire ces images, qui améliorent fortement la valeur du diagnostic et permettent d'établir des diagnostics beaucoup plus précoces.

On peut aussi imaginer que des nanoparticules (d'ailleurs, quelques-unes sont vraiment bien avancées en essai clinique) soient capables de transporter des médicaments. Lorsque l'on injecte un médicament sous forme de molécule, celle-ci sera rapidement éliminée par les reins. Une nanoparticule n'est pas éliminée par les reins : elle a une autre voie d'élimination et l'on sait (je vous l'ai expliqué tout à l'heure) éviter qu'elle ne soit éliminée trop vite. Par conséquent, la particule qui transporte le médicament va pouvoir circuler et trouver sa cible (comme tout à l'heure l'agent de contraste pour faire le diagnostic) et de libérer à cet endroit, quand on le voudra, le médicament.

Nous pouvons même imaginer quelque chose d'encore plus sophistiqué et c'est ce sur quoi nous travaillons, c'est-à-dire que cette particule soit capable de libérer des médicaments et ait aussi une composante magnétique. Si elle a une composante magnétique, nous allons pouvoir la suivre par IRM et vérifier qu'elle arrive au bon endroit.

Lorsqu'on la met dans un champ magnétique à une certaine fréquence (bien évidemment compatible avec la physiologie humaine), la nanoparticule va absorber cette énergie magnétique et la convertir sous forme de chaleur. Nous allons donc pouvoir échauffer localement. Or, des tumeurs s'arrêtent de croître dès que l'on dépasse une température de 44 degrés ; une cellule saine, au contraire, supportera jusqu'à une température de 47 degrés. On a donc une fenêtre thérapeutique que l'on appelle l'hyperthermie, qui peut permettre, si l'on a envoyé beaucoup de particules magnétiques à proximité de ces cellules tumorales - voire à l'intérieur de ces cellules -, de nécroser sélectivement ces cellules. Il y a beaucoup de problèmes à régler, mais des prototypes assez basiques sont déjà en phase clinique II en Allemagne, à la clinique Charité à Berlin.

On peut imaginer que ces nanoparticules magnétiques puissent à la fois tuer des tumeurs directement par la chaleur, mais aussi en libérant un médicament anticancéreux et ainsi avoir un effet encore plus complet.



Je ne voulais pas monopoliser la parole, mais je souhaitais juste vous donner quelques informations sur ce que nous faisons.

Cela fait un bon moment que j'ai noté que je devais venir ici ce soir, mais cela ne fait que 10 jours que je sais que je ne serai pas dans la salle, mais à la tribune. Je veux dire que je suis chercheur : je connais un peu le domaine sur lequel je travaille, tout au moins les aspects chimiques du sujet très pluridisciplinaire dont je viens de vous parler.

Je suis aussi citoyen et père de deux enfants. Je sais très bien que c'est la recherche d'aujourd'hui qui va faire leur avenir demain et je me pose aussi beaucoup de questions.

Les chercheurs ne sont pas remplis de certitudes sur ce qu'ils font. Ils connaissent bien leur science, la façon de l'aborder et toute la rigueur qu'il faut apporter pour être certain que le résultat soit scientifique, publiable et que d'autres personnes puissent l'utiliser derrière. Au-delà de cela, dans d'autres domaines que ceux dont je vous parle, dans le développement, la production industrielle, je me pose les mêmes questions que vous, il est important de le préciser.

M. JACOB. - Bonsoir. Tout d'abord, en introduction du petit exposé que je vais vous faire, j'aimerais vous dire quelques mots sur la société Cordouan Technologies.

Basée à Pessac, cette société est une petite PME qui a été créée en septembre 2007. Cette société comprend aujourd'hui 11 personnes, principalement des docteurs, des ingénieurs, des techniciens et deux ou trois commerciaux. Elle est spécialisée dans l'industrialisation, la mise au point, la fabrication et la commercialisation de solutions de caractérisation de nanoparticules, notamment pour la recherche et l'industrie.

On l'a compris dans les exposés précédents : le développement des nanoparticules doit s'accompagner aussi de nouveaux outils de caractérisation, puisque l'on a affaire à de nouveaux objets pour lesquels les techniques conventionnelles ne s'appliquent plus.

Ces techniques de caractérisation peuvent intervenir dans différentes finalités, que ce soit dans les phases de synthèse des nanoparticules ou pour des études sanitaires ou environnementales où l'on va vouloir essayer de caractériser les objets en présence pour voir leur biodisponibilité ou leur impact sur la santé.

Concernant la caractérisation des nanoparticules, différents paramètres peuvent être mesurés, mais, parmi les paramètres physiques qui vont intéresser les chercheurs et les personnes qui font des études sur ces nanoparticules, il y a principalement la taille. Nous avons vu l'importance de ce paramètre ; on peut aussi citer la forme, la charge et aussi la composition.



Pour caractériser ces différents paramètres, il existe déjà différentes technologies et techniques depuis relativement longtemps, mais elles sont lourdes à mettre en œuvre et assez coûteuses à l'entretien. On a parlé de microscope à force atomique, de microscope électronique à balayage ; d'autres techniques encore sont appliquées, comme les systèmes de diffusion de rayons X aux petits angles.

Par ailleurs, les solutions classiques de microscopie optique ne s'appliquent plus dans ces cas-là, puisque les objets observés sont beaucoup trop petits. Il faut donc développer de nouvelles solutions et c'est sur ce créneau-là que Cordouan Technologies s'est positionné.

Principalement, notre première préoccupation a été de proposer des solutions permettant de caractériser la taille de nano-objets présents dans des liquides ou des crèmes.

Pour cela, nous avons développé, en partenariat avec l'Institut français du Pétrole, un instrument que l'on appelle un granulomètre laser, qui permet de caractériser la taille de nano-objets, qui vont de l'ordre du nanomètre jusqu'au micron. Cela permet de caractériser ces objets et de vérifier leur capacité à s'agréger ou non lorsqu'ils sont mis en suspension dans des solutions.

Des travaux sont déjà menés sur ces sujets depuis cinq à dix ans, mais de nouvelles solutions apparaissent, du fait de l'avènement et de la maturité de certaines technologies en optoélectronique, notamment sur les lasers et les détecteurs.

51

Pour vous donner une idée, la physique qui est derrière le principe de cet instrument que nous avons développé avec l'IFP date du temps d'Einstein, puisqu'il avait développé des modèles physiques à l'époque, prédisant le comportement de très petits objets en suspension dans un liquide. On a pu mettre au point des instruments de laboratoire que l'on peut déployer de manière plus importante aujourd'hui que tout récemment.

On voit que la science avait déjà pensé à traiter la problématique de ces petits objets, mais il a fallu attendre cette maturité technologique.

Aujourd'hui, nous commercialisons cet instrument auprès de différents laboratoires en France et nous commençons aussi à nous attaquer à des marchés européens. Nos collègues du CRPP utilisent l'un de nos appareils et c'est un laboratoire référent qui nous a permis aussi de mûrir notre appareil et de discuter avec des chercheurs pour mieux comprendre leurs problématiques et voir comment faire évoluer les performances de ces appareils, afin de répondre à leurs attentes.

Parallèlement à cela, nous avons différentes activités qui sont moins orientées sur la synthèse des nanomatériaux, mais plutôt sur des aspects environnementaux et sanitaires.



Nous travaillons notamment sur un projet de mise au point d'un appareil de mesure d'aérosol (toujours d'objets nanométriques, mais cette fois-ci, en suspension dans des gaz). Cela concernera directement par exemple les gens qui veulent analyser des gaz de combustion aux sorties des moteurs. L'industrie automobile, notamment, peut être intéressée par cela.

Jusqu'à présent, on a beaucoup parlé de nanoparticules en tant qu'objets de synthèse issus directement d'une volonté créatrice, mais beaucoup de nano-objets sont présents dans la nature, issus d'activités humaines ou présents à l'état de traces, naturellement.

Cela concerne la pollution des nappes phréatiques par des nanoparticules, par des métaux lourds, par des radioéléments. Cela intéresse de plus en plus de personnes dans les filières de traitement des eaux domestiques. Nous travaillons sur un deuxième projet afin de mettre en place des outils de caractérisation de nanoparticules à l'état de traces dans l'eau.

Je pense que ces solutions ont un bel avenir, puisque l'on voit qu'au niveau de VEOLIA, SUEZ, etc., il y a des activités importantes sur la dépollution des eaux.

Tout ce travail se fait dans un contexte normatif : on ne peut pas proposer des solutions sans être à l'écoute de ce qui se fait au niveau des normes. Notre société est aussi impliquée dans les comités de normalisation, notamment le comité AFNOR sur les nanotechnologies, ce qui nous permet de participer activement aux discussions sur tout ce qui touche à la normalisation et à la caractérisation des nanoparticules.

A ce sujet, nous sommes intégrés dans un groupe de travail de manière active afin, au niveau national, de définir une position commune avec d'autres industriels et des chercheurs, et de faire remonter ces informations à un niveau international dans les comités de normalisation.

En résumé, il y a encore beaucoup de travail à faire dans le domaine de la caractérisation des nanoparticules, mais c'est en tout cas un domaine passionnant qui répond aux attentes des chercheurs qui travaillent en amont dans les phases de synthèse et aussi aux attentes de ceux qui sont soucieux de l'impact de ces nanoparticules sur l'environnement et la santé.

Mme JARRY. - Merci beaucoup. Y a-t-il déjà des questions ?

Dans la salle. - C'est très bien, ce que vous nous dites. On est content : on va avoir les moyens de caractériser les nanoparticules dans l'environnement. Le souci est qu'elles sont déjà dans l'environnement et que l'on ne sait toujours pas les caractériser. Il y en a déjà qui se promènent un peu partout...

Sera-t-on capable, en les ayant caractérisées, de les récupérer pour les retraiter ? J'imagine que cela va encore prendre quelques années de développement. Ce ne sera pas simple de récupérer des nanoparticules dans un



lac ou une rivière. C'est donc bien de savoir qu'elles sont là, mais que fait-on après ?

C'est la même chose concernant les déchets. Si l'on caractérise les nanoparticules dans les déchets ménagers, cela pose aussi la question de savoir ce que l'on en fait. Quel est leur devenir ? Ce qui ne me rassure pas dans ce que j'entends ce soir, c'est que nous sommes déjà après l'événement. Les nanoparticules sont déjà fabriquées, déjà libérées et c'est maintenant que l'on se pose la question de savoir comment faire pour aller les récupérer.

Quand on voit la lourde machinerie dans les laboratoires pour les caractériser, les voir et travailler dessus, on ne va pas se promener dans la nature avec un spectromètre de masse pour récupérer des nanoparticules. Cela m'inquiète donc plus que cela ne me rassure. Lorsque l'on a mis une crème solaire et que l'on se lave, que deviennent les nanoparticules de titane qui sont dedans ? Est-ce qu'on les retrouve dans l'eau ? Elles sont déjà dans l'eau, dans la mer et les rivières.

M. POULIN. - Je répondrai à certains points, peut-être pas à tous.

D'abord, si vous utilisez des produits cosmétiques, même sans nanoparticules d'oxyde de titane, même avec du savon de Marseille, vous formez des nanoparticules, des auto-assemblages de molécules tensio-actives des savons, donc titane ou pas titane, nous sommes aussi dans le domaine des nanotechnologies.

53

En ce qui concerne la récupération des nanoparticules dans la nature, le problème n'est pas nouveau. Il y a des nanoparticules dans les eaux usées. Il existe justement aujourd'hui des méthodes par des moyens chimiques, des additifs. En fait, ce sont des longues chaînes polymères qui font coaguler ces particules et les font sédimenter. On étudie proprement ce genre de problème et les nanoparticules sont une opportunité pour avancer dans ces recherches pour un meilleur traitement des eaux usées.

Vous avez entièrement raison : il faut savoir éliminer les particules des eaux. Il existe des technologies, qui sont à améliorer ; cela fait partie des projets de recherche autour des nanotechnologies, pour les particules synthétiques, comme pour les particules minérales. C'est donc vraiment intéressant.

Mme JARRY. - Il y a une question de M. MONTELEON.

M. MONTELEON. - Je voudrais revenir sur les applications de la santé, sur le débat précédent. Comment les chercheurs se protègent-ils ? Par exemple, concernant les cytostatiques, on sait que les soignants et les personnes qui accompagnent les malades sont les «victimes» des médicaments anticancéreux. Qu'en est-il des nouveaux médicaments ? Prend-on les précautions adéquates ? S'intéresse-t-on aux travailleurs qui auront à les utiliser ? On dit que c'est réservé aux médecins, mais auront-ils la protection adéquate dans les hôpitaux ? Les



médecins, infirmières, aides-soignantes, etc., et surtout les personnes qui accompagnent les malades pourront éventuellement être exposés.

M. DUGUET. - Je vais donner une réponse de chimiste à une question qui ne concerne pas que la chimie.

Au laboratoire, toutes les précautions sont prises. Les nanoparticules sont confinées dans de l'eau et elles ne peuvent pas sortir du liquide et n'ont aucune possibilité de s'évaporer, de partir dans l'atmosphère. Elles sont donc confinées dans de l'eau en général, quelquefois dans un mélange hydro-alcoolique. Elles sont toujours manipulées de cette façon.

Puis, les étudiants et les chercheurs utilisent des masques, des gants, des sorbonnes et des hottes qui vont permettre de ventiler, comme pour tout produit chimique.

Je n'ai pas précisé tout à l'heure la nature des nanoparticules utilisées pour les applications médicales. Je vous ai parlé des nanoparticules pouvant servir d'agents de contraste sur les images en IRM. Sachez que c'est «tout simplement» de l'oxyde de fer, c'est-à-dire un petit morceau de rouille, suffisamment petit pour circuler et avoir ces propriétés superparamagnétiques qui lui apportent cet effet de contraste sur les images.

Notre corps contient un pool de fer entre 3 et 5 grammes environ. Lorsque l'on injecte les nanoparticules au patient, on injecte un milligramme de fer – les médecins m'excuseront - par «kilo de patient». Pour un patient de 80 kilos, on injectera 80 milligrammes de fer sur un pool général qu'il a, lui, de 5 grammes. Le corps sait dissoudre du fer à un endroit pour aller le stocker ailleurs ou en éliminer, s'il y en a trop.

La nature des nanoparticules utilisées n'est pas en elle-même toxique, puisque le fer est un élément endogène, que nous avons déjà dans notre corps. En revanche, lorsque l'on associera à ces nanoparticules un médicament, on se retrouvera alors dans un problème de pharmacologie classique. Là, ce sera la toxicité du médicament qui accompagnera la particule, même si l'on peut imaginer que le médicament confiné dans la particule sera peut-être moins toxique et moins volatil que dans une solution plus classique.

M. MATET. - (?) Je suis Loïc MATET, simple citoyen. Je voudrais poser une question par rapport au système de mesure. Les outils de mesure actuels sont-ils suffisants pour confirmer l'absence de nanoparticules dans l'usage de produits de consommation courante contenant des particules agglomérées, dont ce n'est pas le but, bien sûr ?

Mme JARRY. - Voulez-vous parler des produits de consommation courante ?

M. MATET. - Oui.



M. JACOB. - L'une des difficultés est effectivement de détecter les nanoparticules à l'état de traces, sachant qu'elles ont des réponses relativement faibles aux instrumentations. Aujourd'hui, il n'existe pas d'instrumentation permettant de faire des analyses poussées à ce niveau.

Les techniques que nous développons sont particulièrement adaptées au process industriel et là, on parle plutôt de concentrations qui vont de quelques fractions, de 10^5 jusqu'à plusieurs pour cent. Pour avoir des seuils de toxicité, cela dépendra des nanoparticules que l'on va chercher, mais pour avoir des traces à l'état létal par accumulation, on parle plutôt du PPB et aujourd'hui il n'y a pas de technique instrumentale efficace à ce niveau. PPB signifie partie par billion, donc c'est une particule parmi 10^9 particules.

M. MATET. - Donc, actuellement, on n'est pas capable de dire quand un produit d'usage courant n'est pas dangereux pour la santé, puisque l'on n'a pas les outils de mesure...

M. JACOB. - Oui... Il y a aussi l'aspect purement médical. Comment définir un seuil de toxicité aujourd'hui, par effet d'accumulation ou non ? Il y a beaucoup de débats sur l'utilisation de certains produits, notamment dans les biberons pour les enfants. Même la norme n'est pas très claire sur les seuils qui doivent être indiqués quant à la toxicité d'un produit.

Cela dit, il est vrai que définir un seuil sans avoir les outils de caractérisation est un peu illusoire... Les deux doivent aller de pair, mais la caractérisation des nanoparticules et de leur toxicité dans les produits de consommation courante reste un challenge.

M. MATET. - Pourquoi ces produits sont-ils autorisés, puisque l'on n'a pas encore les outils de mesure ?

M. JACOB. - Je ne peux pas vous répondre, je ne suis pas dans les comités...

M. MATET. - Pourquoi les valide-t-on à la consommation ?

Mme JARRY. - De quels produits parlez-vous, par exemple ?

M. MATET. - Des produits de consommation : on a parlé des chaussettes. Je ne parle peut-être pas des crèmes, parce que leur but est justement d'être ingérées, mais tous les produits contenant des nanotechnologies et qui sont capables d'émettre des particules par l'usure. Puisque l'on n'a pas d'outils de mesure, on n'est pas capable de savoir si ces produits sont toxiques, mais on les autorise tout de même.

M. JACOB. - Les objets dont vous parlez sont des objets dans lesquels on a sciemment introduit des nanoparticules et je pense que là, on sait doser les nanoparticules qui ont été intégrées dans leur conception. Je pensais que vous parliez plutôt de présence non souhaitée de nanoparticules...



M. MATET. - Oui...

Mme JARRY. - Il y a les objets fabriqués. Il est certain que le fabricant de crème solaire qui met du dioxyde de titane nanoparticulaire sait très bien combien il en met.

Votre question s'adresse plutôt aux autorités et concerne tout ce qui est autorisations de mises sur le marché, les agences de sécurité sanitaire, que ce soit pour les aliments... D'ailleurs, il faut que vous laissiez votre question et ce sont eux qui vous répondront.

Il est vrai qu'il a été question d'étiquetage : si c'est écrit sur l'étiquette, même si l'on ne sait pas combien, on sait en tout cas qu'il y en a. Votre question relève plutôt de la réglementation.

M. MATET. - Oui, de l'autorisation...

Mme JARRY. - Je ne pense pas que les personnes qui sont à la tribune puissent véritablement vous répondre, mais il y a des gens qui peuvent y répondre...

M. MATET. - C'était plutôt une conclusion par rapport aux réponses qui m'avaient été données précédemment.

Mme JARRY. - Il faut que vous laissiez votre question par écrit et il y sera répondu.

Mme FONTAINE. - Bonsoir, je suis Myriam FONTAINE, de la Direction générale de la Santé, ministère de la Santé et des Sports. Je voudrais juste répondre à M. MONTELEON sur la question du devenir des médicaments.

Je rappellerai que le médicament est très encadré, il fait l'objet d'une autorisation de mise sur le marché. Dans ce cadre, c'est l'ensemble du cycle de vie du médicament qui est examiné, sa production et aussi son devenir dans l'organisme humain et même son élimination ensuite.

Peut-être que cela apporte un élément de réponse aussi sur la façon dont certains produits sont encadrés. On n'est pas sur la question des cosmétiques, mais dans ce domaine un règlement européen devrait être appliqué en 2012 ou 2013. Il prévoit un étiquetage des produits et donc une information qui spécifierait pour chaque nanoparticule utilisée le nom du produit entre crochets avec écrit «nanos».

Ce sont des éléments de réponse sur la façon de tracer et repérer les produits.

Mme JARRY. - Merci. Une réunion a traité des questions de santé et je me permets d'en parler, parce qu'il a été dit beaucoup de choses.

Pour l'instant, il n'y a pas encore vraiment de nanomédicaments : nous n'avalons pas des pilules qui contiennent... La nanotechnologie en matière



d'application médicale concerne essentiellement ce qui est de l'ordre du diagnostic. Ensuite, des applications sont en développement mais, comme vient de le dire Madame, les autorisations de mise sur le marché sont des protocoles qui durent entre douze et quinze ans. Nous sommes donc encore dans les phases intermédiaires, d'après ce que j'ai compris à Toulouse.

M. MONTELEON. - C'est la raison pour laquelle je parlais spécifiquement de la recherche. C'est avant l'autorisation de mise sur le marché. C'est pour cela que j'avais parlé des laboratoires.

Dans la recherche et avant les autorisations de mise sur le marché, les équipes médicales réalisent des essais cliniques tout à fait classiques, parfois en double aveugle. Ils ont donc les risques avant les autorisations de mise sur le marché. Je ne parlais pas du débat sur la santé, mais bien de celui sur la recherche.

Mme CHENEVIER. - Je suis Pascale CHENEVIER, du CEA. Je suis chercheur aussi en nanosciences et je voudrais recentrer le débat, parce que j'ai l'impression qu'il tourne autour de l'idée que les nanotechnologies vont apporter des progrès dans les chaussettes, les crèmes et les articles de sport.

Ce sont les premiers objets qui sont sortis sur le marché. Ce sont les objets les plus simples et peut-être sont-ils ceux dont on n'aura pas besoin. Cela dit, l'enjeu des nanosciences, ce n'est pas cela : je ne travaille pas pour faire des chaussettes.

57

Les enjeux qui se posent à vous tous les jours et qui vous touchent profondément sont des questions très larges et qui sont loin des préoccupations quotidiennes (qu'il faut se poser aussi). Par exemple : que fait-on avec le problème climatique ? On n'a pas fait de débat public sur l'usage ou pas des voitures... On sait bien que l'on ne peut pas poser la question de savoir si l'on va faire un moratoire sur l'usage des voitures.

Dans les laboratoires, nous nous posons des questions de fond sur ce que nous allons faire avec ce problème. Je pense que les nanotechnologies - c'est ma conviction profonde - sont des outils dont nous ne pourrions pas nous passer pour résoudre des problèmes aussi graves que la crise énergétique.

Peut-être n'est-il pas vraiment indispensable de mettre des nanotechnologies dans les chaussettes, mais peut-être aussi que, lorsqu'il faudra faire chacun son électricité sur son toit, on aura besoin de nanotechnologies pour faire du photovoltaïque. Dans ce cas, le moratoire sur les chaussettes tuera aussi le photovoltaïque. C'est mon problème.

(Applaudissements.)

Mme JARRY. - Merci de votre intervention. J'ai plusieurs questions. Je crois que je vais donner la parole à ceux qui n'ont pas encore parlé.



M. IMPE. - Bonsoir à tous. Mon nom est Jean-Pierre IMPE, je suis autodidacte. Je vais poser une question qui me turlupine un peu et qui est à l'ordre du jour : elle touche le porte-monnaie du peuple.

Les fibres ont pollué pendant des années des humains et ils ont eu du mal à faire valoir leur droit au handicap et à accéder à des subventions et à des soins.

Je me pose la question suivante. Comment un généraliste peut-il observer chez son patient la différence entre une toux due à une grippe, à une irritation quelconque, qui est insoluble et que l'on ne sait pas définir, et des nanoparticules ou des éléments cognitifs qui pourraient être nuisibles pour la respiration, l'œsophage et le corps humain ?

On n'a pas pensé à la responsabilité en amont (cela fait aussi partie du débat précédent). Est-ce que les fabricants, ceux qui s'engagent comme Monsieur pour la reconnaissance des nanos, paient une assurance pour leur personnel en cas de pollution humaine qui serait avérée au bout de quelques années ?

Comment peut-on, lorsqu'un individu entre dans l'entreprise, connaître son état physiologique ? Comment peut-on détecter, s'il quitte l'entreprise, son degré de pollution ? Cette assurance, comment peut-on l'avoir ? Peut-on scanner un individu pour connaître des emplacements, des endroits et le taux de pollution qu'il peut avoir ?

58

Mme JARRY. - Je pense que votre question dépasse largement, mais il y a tout de même des éléments de réponse. On peut aussi leur demander comment eux se protègent...

M. IMPE. - Je dis cela pour mettre sur le dos de ceux qui s'engagent dans ce genre de fabrication, plutôt que sur le dos de la Sécurité sociale dont l'endettement est, nous dit-on, abyssal.

M. POULIN. - Ce ne sont pas les chercheurs qui sont employeurs, c'est le CNRS. Le CNRS a un suivi médical (d'ailleurs, il y a un médecin du CNRS qui peut peut-être en parler) et il a la responsabilité de ses employés avec des suivis réguliers. Selon les activités, il s'agit d'une ou deux visites médicales par an, voire plus, au cours desquelles on déclare les produits chimiques auxquels on est exposé.

M. IMPE. - Cela ne répond pas à la question. Comment détecter dans le corps humain ? Un individu consulte un généraliste et dit : «Je tousse, j'ai mal. J'ai une chaleur là, cela me brûle ici. Est-ce que c'est un lymphome ? Qu'est-ce qui me brûle tout à coup ? J'ai des douleurs, c'est anormal»... Comment le généraliste peut-il s'apercevoir s'il s'agit d'une pollution qu'il a eue à travers la peau, les voies respiratoires ou les orifices ?

M. POULIN. - Je suis incompetent en ce qui concerne les questions médicales.



M. IMPE. - Ce n'est pas médical, c'est technologique. Le problème est de savoir s'il y a un scanner. Par exemple, on va passer un scanner... Là, il s'agit de technologie. A-t-on les moyens de contrôler la pollution d'un corps humain dans une unité de fabrication ? Y a-t-il un appareil pour cela ?

Mme JARRY. - Est-ce que l'on peut passer sous un portique le matin en allant travailler...

M. IMPE. - Je ne sais pas... Chimique peut-être ?

M. POULIN. - Il y a eu des exemples sur des animaux, par exemple à l'université de Rice à Houston. Je ne sais pas sous quelle forme cela a été fait, mais ils ont donné des nanotubes à des souris et à des rats. C'est tout simplement par des prises de sang, puis par des techniques de photoluminescence... C'est un peu technique, mais c'est caractéristique des nanotubes : une autre molécule ou un autre composé ne peut pas donner ce genre de signal. Ils ont donc été capables de voir à quelle vitesse les nanotubes étaient éliminés de l'organisme par une prise de sang.

Etienne, tu connais sûrement d'autres techniques, mais c'est une technique qui fonctionne très bien.

M. DUGUET. - Non, je ne connais pas vraiment d'autres techniques. Tout ce que je peux répondre, c'est que nous travaillons essentiellement sur le principe de la prévention. Nous mettons tout en œuvre pour qu'il n'y ait pas d'inhalation, pas de contact entre la peau, par exemple, et les nanoparticules.

59

Au CNRS, dans nos laboratoires de recherche, tout est fermé, sur des petites quantités. Nous mettons en place tous les jours les bonnes pratiques de laboratoire. Il n'y a pas d'appareil miracle nous permettant de dire si tel jour on a été touché par des nanoparticules.

M. IMPE. - Pourrait-on poser la questions à ceux qui font des autopsies régulièrement, pour voir le taux de pollution que l'on peut constater sur les corps qui leur sont remis, de manière à faire un état statistique ? On peut ne pas le savoir, mais cela peut être un indicateur formidable.

Mme JARRY. - Il faut laisser votre question par écrit et, si une réponse plus précise peut être apportée, ce sera fait.

M. HERAULT. - Je suis Patrick HERAULT. J'ai été présent à la Nuit des Chercheurs. Je travaille sur la science des odeurs, je suis odorologue : j'étudie les bonnes comme les mauvaises odeurs et je suis aussi animateur pédagogue.

Un film est passé il y a très longtemps : «Il était une fois la vie - La respiration». Je travaille là-dessus. Vous le comprenez, c'est mon métier, j'ai travaillé avec tout ce qui est en rapport avec l'odorat : l'olfaction, tous les produits que l'on sent dans notre quotidien, que ce soient les produits de la cosmétique, puisqu'il y a des parfums, dans la parfumerie et dans notre environnement.



J'ai fait une étude très récemment et je suis en contact avec plusieurs chercheurs en laboratoire et une journaliste spécialiste qui a travaillé sur tous les produits, qui a check-listé les produits sans parabène, etc., qui a fait une liste de produits toxiques que l'on trouve dans les produits de cosmétiques. C'est une liste avec des noms très barbares. Lorsqu'on lit un emballage, on ne comprend rien du tout. Il faut être chimiste ou aller sur Google pour savoir à quoi cela correspond, on n'a pas toujours l'explication.

En fait, j'en viens à la santé humaine ; je suis animateur pédagogue et c'est ce qui m'intéresse avant tout. Quand je vais dans une enseigne qui vend des produits de cosmétiques et des parfums, il n'y a pas pire endroit concernant les nanoparticules. J'ai fait des études à ce sujet depuis de nombreuses années. Je me pose vraiment beaucoup de questions par rapport à tout ce qui sort de l'industrie chimique.

La chimie moderne a permis de rendre accessibles les parfums en plus grand nombre... Malheureusement, elle a apporté aussi un côté négatif. J'ai parlé à l'université de la médecine naturelle au Domaine de Grenade récemment : on oublie souvent l'ambivalence. Nous l'avons évoqué ce soir : les nanoparticules peuvent apporter un côté bénéfique, mais aussi un côté négatif sur l'être humain, sur la santé. Cela me pose une question d'éthique fondamentale : sommes-nous conscients de cela ? Je n'en suis pas vraiment sûr.

(Applaudissements.)

60

M. POULIN. - C'est vrai de tous les produits : même si l'on boit trop d'eau, c'est toxique au-delà d'une certaine dose.

Mme ZAKRI. - On peut aussi prendre l'exemple des rayons X. Bien utilisés, à une bonne dose, on s'en sert comme diagnostic médical depuis très longtemps, mais on sait que ce peut être très dangereux aussi pour la santé humaine. C'est vrai pour beaucoup de choses. Encore une fois, c'est le fait de connaître qui permet de savoir évaluer cela.

Dans la salle. - Au risque de paraître un peu stupide, je me pose une question très simple. On a parlé des nanoparticules : nous voyons bien que c'est extrêmement toxique et qu'il ne s'agit pas d'en avaler même...

Ces nanoparticules minuscules sont intégrées dans des matériaux. Ces matériaux vieillissent-ils ? Les nanoparticules s'en échappent-elles ? Elles ne sont plus des nanoparticules, si j'ai bien compris. Est-ce que la recherche travaille sur le vieillissement de ces produits, de ces matériaux, sur la façon de les usiner ? On a dit tout à l'heure qu'en les frottant, on pouvait libérer quelque chose...

Il y a là des réponses très importantes à faire, que ce soit pour des chaussettes ou des produits beaucoup plus importants. C'est sur ce sujet qu'il faut faire de la recherche : le relâchement dans la nature, dans l'organisme humain et ailleurs, des produits que l'on a mis pour améliorer le matériau et qui a une durée



de vie, un cycle et qui lui-même peut émettre des choses. Le magnétisme, je ne sais pas... Cette affaire me paraît extrêmement importante. On n'en parle pas trop...

Mme ZAKRI. - Evidemment, cela fait partie du travail de recherche. Lorsque vous découvrez un nouveau matériau, que vous le formulez et le fabriquez, que vous allez le mettre en forme, cela fait aussi partie de la recherche de regarder comment le matériau vieillit. Quasiment tous les chercheurs essaient de savoir ce que devient le matériau avec l'âge, l'usure, l'usure mécanique, le vieillissement. Cela fait évidemment partie des travaux et nous les menons jusqu'au bout, de ce point de vue.

M. POULIN. - Ceci est un commentaire par rapport à deux de vos remarques ou questions ce soir, qui peuvent peut-être prêter à confusion dans l'audience.

Lors d'une précédente intervention, vous avez dit que les nanotubes ne brûlent pas à 1 200 degrés... Non, ce n'est pas vous. Est-ce une autre personne ? Excusez-moi, alors...

Là aussi, c'est un point où l'on est sûr que les nanotubes brûlent bien à 1 200 degrés. On mesure ce qu'il reste : il ne reste rien.

Par rapport à l'introduction de votre question, vous déclariez que l'on sait maintenant que les nanoparticules sont toxiques. Les résultats qui existent sont plus nuancés que cela tout de même...

61

Les personnes qui sont encore présentes peuvent peut-être repréciser...

Dans la salle. - Je voulais intervenir dans le même sens que vous. Lorsque vous dites au début de votre intervention que l'on sait maintenant que ces nanoparticules sont très toxiques, je ne pense pas que qui que ce soit ait dit cela ce soir.

Dans l'assemblée. - Si...

Le même intervenant. - M. BROCHARD n'a pas dit cela non plus. Je pense qu'il a donné un certain nombre d'éléments qui font que l'on se pose des questions, mais il a bien dit que pour l'instant chez l'homme il n'y avait pas grand-chose de probant. Il a très bien expliqué pourquoi on se posait des questions spécifiques pour les nanos, mais je n'ai pas souvenir qu'il ait dit que l'on avait la preuve que c'était très toxique. On est dans une situation où l'on se pose des questions. On est prudent *a priori*, mais on n'a pas d'éléments permettant d'affirmer que toutes les nanos sont très toxiques. Ce n'est absolument pas le cas. Patrick veut peut-être repréciser lui-même ce qu'il a voulu dire, finalement.

M. BROCHARD. - Pour compléter ce que j'ai dit tout à l'heure, nous sommes bien d'accord sur le fait qu'à chimie égale, la taille de la particule va modifier ces propriétés biologiques. Ces modifications, dans les conditions



expérimentales utilisées dans les études, en particulier sur la cellule ou sur l'animal, vont pouvoir occasionner des réponses anormales.

Mais, mais, mais... Certains points sont importants.

D'abord, toutes ces études sont obtenues avec des concentrations extrêmement importantes pour arriver à mettre en évidence un effet biologique. Sur un nombre limité de cellules et d'animaux, on est obligé de travailler sur des concentrations extrêmement fortes.

Effectivement, nous avons des réponses qui nous permettent de dire qu'à des concentrations extrêmement fortes, nous avons des effets biologiques dont certains sont des effets que l'on connaît comme étant prédictifs de certaines maladies sur l'animal, voire chez l'homme. Ceci, dans les conditions expérimentales, c'est-à-dire avec, la plupart du temps, des concentrations extrêmement importantes.

Il n'y a que très récemment que l'on arrive à avoir des relations dose-effet (là encore, sur des modèles *in vitro* ou *in vivo*) permettant de conclure que, lorsque l'on utilise la surface cumulée comme paramètre de la dose, il y a une gamme de valeurs pour lesquelles on n'observe pas de réponse. A partir d'une certaine quantité de surface, on voit démarrer la courbe et des effets biologiques éventuellement prédictifs d'effets au-delà.

Ce n'est pas blanc ou noir. Des éléments de réponses montrent effectivement - je le maintiens ici - que ces particules extrêmement petites ont des propriétés différentes des particules microscopiques et peuvent être réellement cytotoxiques ou entraîner des réactions inflammatoires. Cela dit, là encore, les niveaux d'exposition utilisés sont généralement sans commune mesure avec les niveaux d'exposition évoqués tout à l'heure, en particulier par Olivier WITSCHGER, qui parlait des mesures effectuées dans les milieux de travail. C'est vrai que cela n'a aucune commune mesure.

Notre problème, et nous le connaissons depuis longtemps avec d'autres produits, est que les extrapolations à faible dose sont toujours très compliquées. Ce sont toujours des modèles mathématiques très séduisants sur le plan des graphes ou des publications, mais dans la réalité, concernant leur utilisation chez l'homme, ils sont beaucoup plus difficiles à appliquer.

Il est évident que nous avons beaucoup d'incertitude, mais je maintiens ce que j'ai dit tout à l'heure : nous avons des réponses. Ce ne sont pas des matériaux inertes, ils entraînent des effets biologiques.

Je vous renvoie aussi à un document que nous avons réalisé pour le ministère de l'Ecologie et du Développement durable, qui est sur le site de ce ministère. Nous l'avons écrit dans le cadre du Comité Prévention Précaution en 2006 et l'on y disait : «Attention, danger», car les matériaux sous forme



nanométrique peuvent avoir des propriétés biologiques sur différents types de modèles testés, *a fortiori* quand ils ont des formes bizarres, je le maintiens aussi.

En revanche, nous ne sommes absolument pas capables de dire aujourd'hui qu'il y a un risque chez l'homme. Les données de la science extraites des études sur les cellules ou chez l'animal ne permettent pas d'affirmer que nous sommes dans un cas de risques avérés chez l'homme.

C'est un débat extrêmement intéressant : comment utiliser cette information qui sort de nos laboratoires pour adopter ensuite des principes de précaution et des techniques de prévention qui sont celles dont on vous a parlé aujourd'hui ?

Je pense que, là encore, il est très difficile de pouvoir considérer qu'il y a une situation où l'on est blanc et une situation où l'on est noir. Nous avons beaucoup d'éléments de réactivité biologique ; nous n'avons pas actuellement des éléments qui permettent d'affirmer le risque chez l'homme.

Dans la salle. - Je voudrais revenir sur le moratoire que l'on a proposé. Il faut être clair : nous n'allons pas refaire le débat. Il n'est pas question d'avoir un moratoire sur la recherche. Nous sommes bien d'accord sur le fait que la recherche peut nous apporter dans l'avenir des solutions à un certain nombre de problèmes actuels de technologies pour le solaire, l'énergie... Soit, mais le moratoire qui nous intéresse est celui sur les produits de consommation courante qui sont libérés dans la nature, dans l'espace de tous les jours.

63

Pour revenir au jeune homme qui a posé la question tout à l'heure : est-il utile d'avoir des aliments avec des nanoparticules ? Est-il utile d'avoir des aliments qui vont reconnaître que vous préférez qu'ils soient rouges, jaunes, acides ou sucrés ?

Quand on lit les programmes de recherche et quand on voit les produits lâchés pour l'alimentation, cela fait très peur. Lorsqu'un emballage sera capable de détecter qu'un aliment est en fin de vitalité, est-ce que l'on va lui lâcher des nanoparticules antibactériennes pour prolonger sa durée de vie ? Cela rend un peu rêveur, ce genre de choses, mais nous n'avons pas besoin de cela. Si un bifteck périmé, on le jette, point barre. On n'a pas besoin de prolonger sa durée de vie. Pour quoi faire ? Pour gagner un peu plus d'argent dessus ?

C'est à ce niveau que nous demandons un moratoire, pour tous ces produits dont nous n'avons pas besoin. Nous n'avons pas besoin de chaussettes anti-transpirantes : cela se lave et si vraiment nous ne voulons pas transpirer, la poudre de sauge fait très bien l'affaire et n'est pas toxique.

Il ne faut pas tout mélanger. Il y a d'un côté la recherche sur les matériaux, c'est vrai, mais de l'autre côté il y a ce que l'on nous impose et que nous ne sommes pas prêts à accepter, parce que nous n'en avons pas besoin.



Mme JARRY. - Je peux donner un élément de réponse. Les chaussettes existent, mais les films alimentaires dont vous parlez ne sont pas encore dans le commerce. C'est bien pour cela qu'il y a un débat public.

La même intervenante. - Je suis désolée : dans le papier que j'ai relu hier soir (donc c'est tout frais), il est dit que des produits sont déjà lâchés dans l'environnement pour ce qui est de l'alimentation.

Les films sur les Mars pour que le chocolat ne blanchisse pas...

Mme JARRY. - Je ne sais pas qui croire, parce que Mars dément cette information et assure qu'il n'est mis absolument aucune nanoparticule...

La même intervenante. - S'ils démentent, cela veut dire que c'est dans les cartons et que cela ne va pas tarder à sortir. Nous n'en avons pas besoin...

Mme JARRY. - C'est pour cela que l'on a un débat public.

La même intervenante. - Nous n'en avons pas besoin, donc nous demandons...

Mme JARRY. - A ceux qui demandent pourquoi ce débat vient si tard, je dis qu'il ne vient pas trop tard : la preuve ! Il est temps de dire que vous n'en voulez pas.

La même intervenante. - Est-on capable d'instaurer un moratoire sur la nano dans les produits alimentaires et ceux qui sont en contact avec le corps, qui ne nous apportent rien de plus par rapport à ce que nous connaissons ?

Mme JARRY. - Tous les éléments de ce débat seront contenus dans le rapport que nous rendrons au maître d'ouvrage.

La même intervenante. - Là, c'est dangereux. Dans la mesure où l'on ne sait pas quelle est leur toxicité potentielle, ce qu'elles vont devenir, ce qu'elles vont faire, et que l'on sait en revanche qu'elles pénètrent les membranes, le cytoplasme des cellules, cela pose question.

Pour quelque chose qui ne sert à rien, ce n'est pas la peine de nous exposer à un danger supplémentaire. Concernant la recherche sur les matériaux, c'est autre chose.

Mme ZAKRI. - Nous sommes bien d'accord avec vous, je pense. Je peux parler au nom des autres, puisque je les ai entendus réagir.

Je rejoins ce que disait l'intervenant de tout à l'heure : ce qui nous excite, ce ne sont pas les nanoparticules dans les chaussettes, ni les films d'emballages antibactériens. Ce qui nous excite, c'est tout l'enjeu autour de l'énergie, qui est vraiment une problématique posée aux chercheurs aujourd'hui : trouver des solutions pour l'énergie, c'est-à-dire faire de nouveaux capteurs...

Je voulais donner l'exemple du capteur car je pense qu'il est assez emblématique. Dans les recherches que l'on a menées, on s'est rendu compte



qu'en assemblant correctement les nanotubes de carbone sous certaines formes, on pouvait faire des petites électrodes qui sont des capteurs. On s'est aperçu que ces capteurs étaient beaucoup plus sensibles que ce qui existe aujourd'hui sur le marché sous d'autres formes.

Un capteur est capable d'aller mesurer la quantité de certaines molécules toxiques, par exemple, présentes autour de nous, des molécules chimiques, mais il peut aussi capter des biomolécules, etc.

Vous voyez l'ambiguïté à laquelle nous sommes confrontés. Quelque part, on remet en cause les nanotubes de carbone pour leurs aspects toxiques et en même temps, on se rend compte qu'ils peuvent aussi aider à fabriquer des dispositifs, des capteurs capables de détecter les molécules toxiques ou ce genre de chose, beaucoup mieux que les instruments que nous avons à l'heure actuelle.

Cela donne vraiment à réfléchir sur notre travail au quotidien, sur ce que nous faisons et sur les enjeux derrière cela.

M. DUGUET. - Je voudrais rajouter un point. Pour revenir aux fameuses nanoparticules d'argent dont on parle depuis tout à l'heure et que l'on peut mettre dans les chaussettes pour éviter le développement de bactéries et d'odeurs, sachez qu'il y a des applications beaucoup plus intéressantes, notamment pour des peintures dans les hôpitaux pour éviter le développement des maladies nosocomiales. On pourrait traiter, peindre les murs des hôpitaux avec ces nanoparticules qui elles, là, sont partiellement piégées et qui pourraient limiter... Vous voyez donc qu'il y a là des développements de cette propriété de l'argent à l'échelle nanométrique qui me semblent plus intelligents.

M. POULIN. - Pour les mobiliers et les sols des hôpitaux, il y a des particules d'argent qui sont utilisées.

La même intervenante. - On a multiplié les mesures sanitaires dans les hôpitaux avec certains produits, mais cela n'a pas empêché les maladies nosocomiales (*intervention hors micro*). La simple hygiène serait déjà bien.

Les nanoparticules d'argent sur les murs ou sur les sols, je veux bien, mais est-ce que vos murs et vos sols vont relarguer les nanoparticules d'argent ? Les personnels seront-ils exposés à ces nanoparticules ? C'est une fuite en avant qui nous est proposée.

M. POULIN. - C'est justement une bonne question, qui fait partie des projets de recherche en cours. Il y a un réel gain à utiliser ces particules, mais il faut savoir dans quelles conditions bien les utiliser.

La même intervenante. - Essayez de savoir d'abord ce qu'elles vont devenir, avant de les proposer à l'utilisation. L'eau de Javel fonctionne très bien et le savon de Marseille et l'alcool à 90°, aussi. Ce sont des produits qui ont été utilisés de tout temps. Les études montrent que si les mesures d'hygiène étaient vraiment



respectées *stricto sensu* avec des produits «normaux», il y aurait beaucoup moins de problèmes.

M. POULIN. - Honnêtement, sans être médecin, je ne sais pas si c'est très bon pour la santé de respirer de l'eau de Javel ou de l'alcool fortement concentré pendant de longues heures en faisant le ménage...

M. WITSCHGER. - Je voudrais apporter quelques éléments sur la question du relargage.

Concernant les poudres, des tests sont actuellement développés pour étudier la propension d'une poudre à former un aérosol. Cet indice pourrait être utilisé pour effectuer une évaluation des expositions. Des travaux sont menés sur la question des poudres qui contiennent des nanoparticules. Dans le cadre du Comité technique TC 229 - Nanotechnologies, une norme est en programmation sur ce sujet.

Il y a également la question que vous posez, qui est très importante, du relargage des nanoparticules dans des matrices, par exemple, polymères ou autres. Là aussi, différentes équipes réfléchissent produire des tests qui pourraient être utilisés *a priori* avant toute commercialisation de matériaux. C'est pour dire que des recherches sont réalisées sur ce point. Je vous remercie.

M. IMPE. - J'ai vu le «Silence des Nanos» de Julien COLIN et j'ai été marqué par un fait. Vous êtes chercheurs et je crois que cela vous intéresse, vous en parlez plus ou moins ici ce soir : si je ne me trompe pas, il s'agit de la capacité des nanotubes à se recomposer dans des formes que l'on peut leur demander pour réparer une hanche, par exemple. Qu'en est-il exactement ?

M. POULIN. - Réparer une hanche, je ne sais pas, mais en tout cas il est vrai que les nanotubes peuvent être des matériaux actifs que l'on peut déformer avec différents types de stimulation, dont des stimulations électriques, ce qui ouvre par exemple des perspectives pour de nouvelles applications.

Il y a ce que l'on appelle la nanomédecine : des médecins avec des physico-chimistes et des ingénieurs développent de nouveaux outils de microchirurgie non invasive avec des nanotechnologies. Juste avec un cathéter, ils arrivent à faire des opérations qui se faisaient avant à cœur ouvert, du fait de la déformation de ces matériaux.

Concernant les nanotubes et le problème de hanche, je pense qu'il y a encore du temps, mais pour des choses plus simples comme des cathéters, cela existe déjà.

Nous avons des collègues canadiens qui travaillent sur les biomatériaux. Ils nous disent que des risques de rupture d'anévrisme avec des alliages à mémoire de forme peuvent être soignés en une demi-heure sans aucune opération, alors que c'étaient avant des opérations extrêmement lourdes : il fallait ouvrir pour opérer dans le cerveau.



Il y a donc des apports, comme le disait Pascale CHENEVIER. Nous avons beaucoup parlé des aspects négatifs et très peu des aspects positifs des nanotechnologies, pour faire des matériaux plus légers qui consomment moins d'énergie, des systèmes pour la conversion d'énergie... Beaucoup d'espoirs sont placés dans les nanotechnologies et cela a peu été abordé. Ce sont surtout les aspects négatifs qui ont été abordés...

M. IMPE. - Existe-t-il des écoles de formation pour les futurs cadres dans les entreprises, de manière à former du personnel aux nouvelles technologies, donc aux nanotechnologies qui arrivent sur le marché de l'industrie ? Y a-t-il ici par exemple, en Gironde, en Aquitaine, des centres de formation menant à des postes de cadres ou d'agents dans vos ateliers et comment peut-on y accéder ? Quelles sont les filières et les approches actuelles ? Je vous remercie.

M. POULIN. - Il y a des DEA de nanotechnologie qui sont maintenant montés en France. A Bordeaux, il y a une option à l'école de Chimie et de Physique. Peut-être que Cécile ZAKRI, qui travaille à l'Université, saura mieux répondre que moi...

Mme ZAKRI. - L'enseignement universitaire suit avec un certain retard, mais il suit bien les développements scientifiques qui sont réalisés dans les laboratoires. C'est la raison pour laquelle, en général, certains des chercheurs dans les laboratoires sont aussi des enseignants universitaires.

Comme le disait Philippe, sur Bordeaux il commence à y avoir des masters dans lesquels on enseigne aux étudiants les concepts autour des nano-objets, des nanoparticules et des nanosciences, pour leur transmettre la connaissance dans ces domaines.

M. IMPE. - Les universités sont-elles de plus en plus dotées de ces structures ou cela reste-t-il encore à faire ?

Mme ZAKRI. - Des masters sont déjà ouverts et fonctionnent...

M. IMPE. - Ces formations sont-elles suffisamment au point techniquement pour former correctement ?

Mme ZAKRI. - Elles sont en relation avec les laboratoires. Ces derniers ont des outils...

Elles connaissent forcément les limitations que nous connaissons. Nous avons parlé tout à l'heure des instruments de mesure qui ne sont pas encore complètement au point. Nous sommes tous d'accord là-dessus, mais nous leur apportons nos connaissances et ce que nous savons aujourd'hui et les outils qui vont avec.

M. IMPE. - Donc le privé rentre à l'université pour former des gens de demain.



Mme ZAKRI. - Pourquoi parlez-vous du privé ? Nous sommes universitaires et CNRS. Nous sommes en train de vous parler de la transmission de la connaissance des chercheurs du CNRS et des universités vers les étudiants.

M. IMPE. - En tant que chercheurs fondamentaux ?

Mme ZAKRI. - Oui, absolument, les connaissances qui sont dispensées...

M. IMPE. - Parce que vous avez un entrepreneur aussi à côté de vous... C'est pour cela que je parlais de cela.

Mme ZAKRI. - Je peux le laisser répondre...

M. JACOB. - C'est un peu un mauvais exemple, puisque c'est le creuset dans lequel on va chercher les gens qui font partie de notre projet aujourd'hui. Certains ont fait l'école de Chimie et Physique de Bordeaux. Ce sont des personnes qui ont été formées dans les filières qui viennent d'être citées.

Au niveau des formations de techniciens, je ne sais pas s'il existe à ce niveau des formations sur des cursus spécifiquement centrés sur les nanomatériaux et sur l'environnement de travail autour de cela.

Mme JARRY. - C'est typiquement le genre de question à laquelle il peut être répondu. Laissez-la par écrit et il vous sera répondu.

M. GAILLARD. - Je suis donc Patrice Gaillard, de la société ARKEMA, responsable du projet «Nanotubes de carbone». Je voudrais signaler qu'ARKEMA, dès le début de son activité dans ce domaine, a pris la pleine mesure des questions qui allaient se poser. Bien sûr, on n'est pas parfait, on évolue.

S'agissant de l'accompagnement que l'on a pu faire au niveau des universités et de la formation, je peux en dire quelques mots. J'interviens dans le cadre d'une chaire industrielle sur l'université de Bordeaux, sur l'école de Physique et de Chimie de Bordeaux.

Dans ce cadre de chaire industrielle autour des nanotechnologies, des nanomatériaux, des matériaux nanostructurés, je suis amené à assurer des formations dans le domaine de la technique et de l'application qui sont très centrées sur les nanotubes de carbone, ainsi que toute une dynamique de formation.

Je collabore également avec Daniel BERNARD, qui intervient dans le domaine de la normalisation et de la métrologie. Nous intervenons avec un apport d'industriels, de connaissances, en termes d'ergonomie au poste de travail que l'on développe avec Alain GARRIGOU de l'IUT de Bordeaux et aussi avec l'INRS, pourquoi pas, avec le CEA, l'INERIS, etc.

Ensuite, il faut savoir qu'en accompagnement dans un accord-cadre avec le Conseil régional Aquitaine, il a été décidé dans le cadre du CPER 2007-2013 de construire un nouveau bâtiment totalement dédié à la manipulation des



nanos. Il sera adossé à l'école de Physique et de Chimie de Bordeaux et il sera construit d'ici un an à peu près. Dans ce bâtiment, nous accueillerons aussi des sociétés qui développeront les meilleures pratiques s'agissant des manipulations de nanomatériaux.

En même temps, nous allons créer la plateforme CANOE, qui est le consortium aquitain et Midi-Pyrénées des nanomatériaux et de l'électronique organique. Dans le cadre de cette plateforme, nous allons développer un axe de formation en direction des applicateurs et des utilisateurs des PME et PMI. Les personnes viendront se faire former, c'est-à-dire apprendre les pratiques qui sont utilisées aujourd'hui, qui sont des pratiques vraiment optimisées chez ARKEMA, par exemple, sur les unités de fabrication de nanotubes, au centre de recherche de Lacq, mais aussi sur cette plateforme technologique de l'Université de Bordeaux.

C'est un exemple. Je ne m'étendrai pas plus longtemps, mais il y a une pleine mesure, tout le monde a pris conscience de la nécessité d'accompagner ces nouveaux développements. Nous n'avons pas le droit de ne pas expliquer : nous devons accompagner et nous devons écouter les questions qui se posent, y répondre, être humbles, mais refuser certaines choses et expliquer vers quoi nous allons.

M. ROSSIGNOL. - Je suis Clément ROSSIGNOL, physicien et élu écologiste.

Il y a deux débats en parallèle.

Premièrement, comment faire avec les produits actuels qui contiennent des nanoparticules et dont nous ne connaissons pas la toxicité potentielle ? Très peu d'études ont été faites sur l'homme, ce qui pose un sérieux problème.

Deuxièmement, quelle recherche ? Mes collègues nous expliquent que leur recherche n'a pas pour but de développer des chaussettes avec des nanoparticules d'argent, mais plutôt les économies d'énergie, pour lutter contre les bouleversements climatiques à venir, ou le développement de nouveaux processus thérapeutiques sans effets secondaires comme la chimiothérapie.

Soit... En revanche, chaque technique, chaque nouvelle invention a une face positive et une face négative, nous le savons tous. Quelle que soit la science, ce qui importe, c'est l'utilisation que l'on en fait.

Je pense que ce n'est pas aux chercheurs de dire si c'est positif ou négatif pour la société, mais plutôt aux citoyens et éventuellement aux politiques qui les représentent.

Ce soir, nous en parlons, c'est bien, mais il faut que les citoyens puissent être à même d'appréhender la problématique. Pour l'instant, lorsque l'on parle nanotechnologies au citoyen, on se heurte à une incompréhension car les gens ne savent pas ce que c'est, alors que cela va devenir une problématique fondamentale pour notre société.



Les élus ne sont pas informés non plus, ils ne connaissent pas les problématiques des nanotechnologies et ne peuvent pas faire des choix éclairés en termes de financement et d'orientations de la recherche par rapport à leur projet de société. Nous avons une recherche qui est performante, mais qui devrait être plus ouverte à la société.

Enfin, il a été fait mention de voitures et du fait qu'il est impossible d'imposer un moratoire sur les véhicules, qu'il fallait donc chercher à avoir des panneaux solaires plus performants, par exemple. Je suis intimement persuadé que la réponse aux bouleversements climatiques auxquels nous allons devoir faire face dans les années à venir, si nous ne changeons rien à nos comportements, ne peut pas être qu'une réponse technologique ; ce n'est pas possible. Nous devons avoir une réponse de société ; pour ce faire, nous devons nous poser des questions de société et pas simplement des questions d'ordre technologique.

Il y aura donc une réponse technologique, mais ce ne sera qu'une petite partie. Par exemple, les pays en voie de développement ne pourront pas s'équiper aussi rapidement que nous de ces panneaux solaires.

Les premières sources d'émission de gaz à effet de serre sont le logement (l'isolation) et le transport. On construit 1 % de nouveaux logements par an... La problématique, ce sont les 99 % qui restent. Il faudrait un siècle pour les changer. En fait, la problématique, c'est notre société actuelle et ce que l'on peut faire pour qu'elle évolue.

Dans la salle - Je suis Pascal (?) de la SEPANSO. Sur le débat même de ce soir, à part les personnes qui sont favorables aux nanos parce qu'elles sont chercheurs, fonctionnaires et qu'elles sont là pour les défendre, il me semble que les interventions ont été plutôt défavorables. Cela veut dire que, globalement, les gens ont de la suspicion ou qu'ils sont favorables à un moratoire.

Au cours des deux ou trois débats qui ont précédé, a-t-on eu la même tonalité ? Si, au bout de ce débat, on se retrouve avec cette tonalité générale, la Commission du débat sera-t-elle en capacité de dire au ministère que les gens sont globalement favorables à un moratoire à 70 % ? Est-ce que cela va se passer comme cela ?

Mme JARRY. - Je ne sais pas si l'on ira jusqu'à citer des chiffres, mais bien sûr, c'est ce que le maître d'ouvrage attend de la Commission : qu'elle rende un rapport aussi fidèle que possible à ce qui ressort des débats.

Par ailleurs, je crois que vous le savez (en tout cas je peux le redire) nous n'avons pas d'autre vocation que celle de rendre un rapport. Nous ne sommes pas prescripteurs, nous ne donnons pas de recommandations. Le maître d'ouvrage, en revanche, est tenu dans les trois mois après la remise de notre rapport de livrer publiquement ses conclusions. Il sera donc tenu de dire ce qu'il fait de ce rapport.



Evidemment, tous les avis exprimés seront compris. Cela dit, est-ce que cela se posera dans les termes que vous dites : "70 % des gens sont favorables à un moratoire"... Je pense que ce sera beaucoup plus complexe, plus nuancé et plus divers aussi comme opinion. Cela dit, il est évident que notre rôle est de rendre un rapport fidèle.

Le même intervenant. - Est-ce que les débats précédents étaient de même nature que celui de ce soir ?

Mme JARRY. - Les réunions précédentes étaient très différentes, parce que les thèmes abordés étaient différents, mais d'une manière générale, il est vrai que les inquiétudes sont fortement exprimées.

Il y a aussi un élément qu'il ne pas oublier dans ce débat : comme vient de le dire M. ROSSIGNOL, le public est encore largement sous-informé. C'est aussi l'une des missions du débat public que d'informer. Beaucoup de gens viennent en réunion pour en savoir un peu plus. Lorsque vous ne savez pas, c'est évidemment plus difficile de vous faire une opinion.

C'est en cela que le monde associatif a aussi un rôle à jouer dans ce débat : souvent, il a déjà réfléchi. Madame, du FNE, a déjà des positions très tranchées et c'est aussi pour cela que nous avons recueilli tous ces cahiers d'acteurs à l'entrée des salles, pour donner aux publics qui peuvent les prendre la mesure de toutes les positions qui existent et donner un peu de matière pour que les gens puissent s'exprimer et poser des questions.

71

Je pense que chaque réunion sera différente. Pour répondre à votre question, les trois réunions qui ont eu lieu jusqu'à présent étaient, même formellement et structurellement et dans la participation du public, toutes différentes.

Je rappelle aussi que l'on peut suivre sur Internet... Tous les verbatim sont publiés sur le site, c'est-à-dire que l'intégralité de chaque réunion est mise en ligne. C'est un peu long, mais ceux qui veulent le lire peuvent le faire. Des synthèses sont également rendues après chaque réunion.

M. POULIN. - Je voulais dire que nous ne travaillons pas uniquement sur les nanos parce que nous sommes fonctionnaires. Nous travaillons sur les nanos parce qu'il y a des problèmes scientifiques qui nous intéressent et des applications technologiques auxquelles nous croyons. Comme l'a dit Etienne tout à l'heure, nous sommes aussi citoyens : nous ne sommes pas des chercheurs enfermés dans notre bulle. Je dis cela par rapport au premier commentaire que vous avez fait pour introduire votre vision des chercheurs.

Mme ZAKRI. - Pour compléter ce que dit Philippe, dans votre propos, c'est comme si l'on enfourchait un cheval de bataille, les nanos, et que l'on était prêt à le défendre à tout prix. Ce n'est pas du tout dans cet esprit que nous travaillons et que notre métier se fait au quotidien. Nous sommes là pour apporter



de la connaissance sur des nouveaux matériaux, des nouvelles choses. Nous travaillons en effet actuellement sur les nanos, nous nous posons des questions sur ce sujet et nous y réfléchissons.

En d'autres temps, à d'autres époques, les chercheurs ont travaillé sur d'autres thèmes et nous serons sans doute aussi amenés à le faire tout au long de notre carrière, à réfléchir à d'autres aspects des choses, à d'autres sujets. Les nanos ne sont donc pas forcément notre cheval de bataille. Actuellement, nous travaillons dessus, nous croyons à certaines applications et nous mesurons certaines propriétés, c'est tout.

M. DUGUET. - Je voudrais rajouter que, moi aussi, je suis un peu vexé par votre remarque. Je ne crois pas que les chercheurs défendent absolument les nanos.

En revanche, je trouve normal, étant payé par la société, par le ministère de l'Education nationale, avec mes compétences de chimiste sur les nanos, que ce soit mon travail de regarder si des solutions thérapeutiques ne pourraient pas venir de là.

Comme pour tous les médicaments, il y a beaucoup d'hypothèses, mais peu d'entre elles sortent. Il y a de grandes chances pour que, malheureusement, le résultat soit négatif, je n'en sais rien, mais c'est mon devoir de regarder avec mes compétences et d'aller dans cette direction. La conclusion sera peut-être - certainement, même - négative.

72

Dans la salle - Bonsoir, je finis mes études de pharmacie. Je suis venue parce que pour moi, les nanotechnologies c'étaient les liposomes, etc. Je voyais vraiment cela du côté bénéfique de la question, au niveau des avancées médicales.

Il est vrai que, pendant tout le débat, il n'y a eu que des aspects négatifs qui ont été cités. Heureusement qu'il y a eu la deuxième séance pour parler des avancées médicales, pour dire que ce sont des voies de recherche, que les nanotechnologies peuvent les aider.

Il ne faut vraiment pas faire l'amalgame. Qu'est-ce qu'un liposome ? C'est une boule de graisse, si l'on parle vraiment franchement.

Ensuite, il y a la question des nanotubes, qui est un système, de polymères de carbone... Il faut remettre les choses à leur place. Les nanotechnologies sont une science ; ensuite, il y a beaucoup de dérivés, comme pour la chimie.

Je trouve dommage que l'on conclue qu'il n'y a que des aspects négatifs dans cette science : il faut juste faire la part des choses. Il y a des avancées bénéfiques, d'autres le sont moins. Ensuite, cela dépend de l'utilité. Il faut arrêter, à chaque avancée technologique, de dire qu'il y a des aspects négatifs. Il peut y avoir des aspects positifs et heureusement qu'ils sont là.



Mme GRANGE. - Bonsoir, je m'appelle Elisabeth GRANGE. En tant que citoyenne, je suis très satisfaite d'avoir été informée ce soir sur les nanotechnologies. Je n'étais pas du tout au courant.

En revanche, ce qui m'inquiète, c'est que l'on apprend ce soir que les études sur la toxicologie des nanoparticules ne sont pas du tout terminées. Il n'y a pas du tout de conclusion pour l'instant, mais c'est déjà industrialisé. C'est vraiment cela, mon inquiétude.

J'ai bien compris qu'il y avait des aspects très positifs à retirer de ces technologies, j'en ai tout à fait conscience, ainsi que tout le monde, je crois. Cela dit, il est très inquiétant que, dans un pays comme le nôtre, bien que ces études de toxicologie ne soient pas terminées, bien que l'on nous dise : «Attention, danger», bien que l'on nous dise qu'à forte dose, il y a des risques de maladies graves, etc., ce soit déjà utilisé dans l'industrie et déjà consommé. Je ne peux pas le comprendre.

Mme JARRY. - Quelqu'un veut-il répondre ?

Dans la salle. - Au fond, le débat auquel nous assistons est très ancien. Dans le développement scientifique, il y a toujours eu des gens qui trouvaient que l'on allait trop loin, cela n'a rien de nouveau. La pomme de terre a été difficile à acclimater en France ; cela paraît maintenant extraordinaire. Prenez le cas de l'électricité : nous sommes éclairés et chauffés, mais malheureusement il y a eu des morts dans les installations électriques. Je ne dis pas que c'est bien, mais il ne faut pas croire...

73

Il y a des dérives, effectivement... Quelqu'un disait un jour à New-York, en voyant passer un avion : «L'homme a appris à écrire dans le ciel et il écrit *Buvez Coca-Cola*»... Il y a donc des dérives, elles sont parfois ridicules. Cela étant dit, l'aviation, c'est tout de même important. Malheureusement, il y a aussi des accidents d'avion...

Dans la salle. - Il y aurait une solution. Ne peut-on pas trouver - poser - simplement des conditions d'utilisation pour ce, dont on ne sait pas si c'est dangereux ? C'est au législateur peut-être de dire cela... N'est-ce pas la solution, pour rassurer tout le monde ?

Mme JARRY. - Cela a été l'objet de la réunion de Strasbourg, qui a traité pratiquement exclusivement de réglementations, ce qui l'a rendue assez ardue à la compréhension.

Nous sommes entrés dans le débat par son côté le plus abstrait, qu'est la réglementation, et il a été discuté de toutes ces questions que vous soulevez, à savoir comment peut-on réglementer à la fois le développement et l'utilisation de ces nouvelles technologies.

M. MONTELEON. - La question que l'on peut se poser, ce n'est pas tellement de savoir si les nanotechnologies vont nous apporter beaucoup de



choses ou pas, ni de savoir si ce sera extraordinaire ou pas. Ne peut-on pas appliquer aux nanos le principe très simple consistant à dire : «Quand on ne sait pas, on ne commercialise pas» ? Ensuite, reste à savoir, reste à chercher et à démontrer soit l'innocuité, soit des modes d'utilisation qui seraient non dangereux, mais ce serait simplement cela : «Pas de données, pas de marché».

(Applaudissements.)

M. BENABEN. - (?). Je rejoins un peu ce qui vient d'être dit. Si on limite ou que l'on interdit la commercialisation, en quoi est-ce que cela va empêcher la recherche de continuer, d'avancer à 300 % même, d'investir encore plus ? On ne s'y oppose pas. Si l'on interdit par exemple les nanotechnologies dans l'usage courant, dans ce que l'on retrouve quotidiennement, on n'empêche pas la recherche...

M. POULIN. - Oui et non : cela va dépendre de certains sujets. Concernant par exemple des projets matériaux sur lesquels on travaille, comme le disait M. BERNARD, un gramme de nanotubes coûtait 1 000 euros. Avec de tels prix, on pouvait tester très peu de matériaux. Aujourd'hui, c'est parce qu'il existe des pilotes de productions que l'on peut aller beaucoup plus loin et tester de nouveaux matériaux et procédés de mise en forme et faire de la science nouvelle, tout simplement parce qu'il y a des produits plus accessibles.

Dans certains cas, cela va être possible, mais dans d'autres, en particulier pour les matériaux et les nanotubes, il est très précieux que des productions à plus grande échelle se développent. Je ne pense pas que ce soit une généralité, mais dans ce cas-là, ça l'est.

74

Dans la salle. - Pour revenir sur ce que disait la dame qui est inquiète que l'on mette sur le marché des produits que l'on n'a pas testés, je voudrais prendre un exemple présent chez tout le monde : les pesticides.

Il y a vingt ans, on nous a vanté les mérites des pesticides qui étaient systémiques, qui allaient révolutionner l'agriculture et permettre des rendements incroyables. Aujourd'hui, ils sont partout : dans l'air, dans l'eau, dans nos corps. On constate des maladies neuromusculaires, des maladies cancéreuses directement liées aux pesticides.

Maintenant, dans le domaine médical, tout le monde dit : «Attention, halte aux pesticides» ! On a lâché ces pesticides sans savoir ce qu'ils allaient devenir. On a fait des études de toxicité aiguë, mais pas chronique à long terme. De toute façon, les effets reprotoxiques cancérigènes et mutagènes n'ont jamais été étudiés. C'est maintenant que l'on s'aperçoit qu'ils ont ces effets.

Cela pose problème. On ne va pas recommencer la même chose. On a fait pareil avec les OGM, on a dit : «C'est très bien, c'est génial, cela va nourrir le monde». Manque de chance, on s'est aperçu que la technologie n'est pas tout à



fait ce qu'elle était, qu'elle pose aussi des problèmes au niveau de la consommation humaine, et on continue !

Les gens maintenant ont peur : on lâche dans la nature des choses que l'on ne maîtrise pas et on nous les impose avant de les avoir testées. Là est bien la question.

A-t-on besoin d'avoir des produits qui ne nous servent à rien, alors que l'on ne sait même pas ce l'effet que cela aura dans notre organisme et dans notre avenir ? La recherche, c'est très bien. Il y a des avancées, des choses magnifiques en sortiront, c'est certain, mais il faut mesurer aussi ce que l'on fait avec ces instruments. Lorsque ce n'est pas utile, si on ne sait pas ce que cela fait, on ne commercialise pas.

Dans l'alimentation, je le répète : je ne suis pas tout à fait d'accord pour cela. On n'a pas besoin de nanos dans ce domaine. On a ce qu'il faut pour manger, on a de la nourriture bio... On refuse les pesticides dans l'alimentation ; on ne va pas accepter des nanos, il ne faut tout de même pas tomber sur la tête.

M. BERGOUGNOUX. - Je pense que le temps de conclure est venu. Nous en sommes à la quatrième réunion. Il y a encore 13 réunions à venir, le débat va se poursuivre et s'amplifier.

C'est une réunion consacrée à la protection des travailleurs. Si l'on veut les protéger, c'est parce que l'on pense qu'il y a des risques : il est donc normal que le débat soit centré sur les risques, ce n'est pas surprenant.

Il y a peut-être d'autres lieux où le débat sera centré sur certaines promesses, notamment lorsque l'on parlera des applications médicales, par exemple. Le débat sera peut-être un peu différent. Je vous invite à suivre cela assidûment. Nous mettrons tous les outils à votre disposition pour que vous voyiez comment les choses progressent.

N'hésitez pas à apporter des contributions sur le site et véritablement, j'insiste sur ce point, aussi argumentées que possible. Le débat public n'est pas un sondage d'opinion : ce sont des confrontations d'arguments dont nous rendrons compte de façon complète et honnête à la fin des débats.

Merci à tous ; le débat continue.

(Applaudissements.)

Le débat est clos à 23 heures 32.

