

La terminologie des nanotechnologies au cœur des processus normatifs

Il est reconnu que la conférence que le physicien Richard Feynman (Prix Nobel de Physique 1965) a présentée au *California Institute of Technology* (Caltech), le 29 décembre 1959, constitue le discours fondateur de l'ère du nanomonde et des nanotechnologies.

Son expression « *There is plenty of room at the bottom* » (*Il y a beaucoup d'espace, en bas*), qu'il explicita en prédisant qu'il serait possible, un jour, d'enregistrer l'ensemble des vingt-quatre volumes de *l'Encyclopaedia Britannica* sur un grain de poussière, est aussi emblématique pour le nanomonde que l'est, pour le monde macroscopique, la petite phrase prononcée par Neil Armstrong lors de son premier pas sur la Lune, le 21 juillet 1969 : « Un petit pas pour l'homme, un grand pas pour l'humanité ».

Mais si le nanomonde a, ainsi, une date de naissance, ce n'est qu'en 1974 que le terme « nanotechnologie » a été créé par l'universitaire japonais Norio Taniguchi et ce n'est qu'en 1986 qu'il a été popularisé par Eric K. Drexler (du MIT), dans son essai intitulé « Engins de création ».

par **Daniel BERNARD***

* Président de la Commission AFNOR X457 Nanotechnologies, Chef de la délégation française au *TC229 Nanotechnology* de l'ISO, Conseiller Scientifique d'ARKEMA.

Jusqu'à maintenant, il n'existe pas encore de langage commun qui permettrait aux scientifiques, aux technologues et aux industriels de nommer et de décrire de manière univoque les objets et les processus du nanomonde, de les caractériser et d'en évaluer les propriétés, chacun décrivant ce nouveau monde avec ses propres mots puisés dans la culture scientifique et technique traditionnelle.

De quoi parle-t-on ? Que comprenons-nous, lorsque le terme « nanotechnologies » est employé ?

Les premières réunions du Débat Public sur le thème « *Développement et régulation des nanotechnologies* » illustrent parfaitement la diversité des perceptions des nanotechnologies.

Les physiciens, les chimistes, les biologistes, les scientifiques et les ingénieurs, les syndicats de travailleurs, les associations de défense des consommateurs ou de l'environnement (en un mot, les citoyens) et les pouvoirs publics cherchent à définir le contenu et les frontières de ce monde « que l'on ne voit pas », à partir de la vision particulière qu'ils en ont, et à en comprendre les interactions avec notre monde « visible ».

Le syndrome du « *village gaulois* » n'est pas propre à la France : à l'échelle mondiale, ce syndrome ne fait que s'amplifier, chaque pays élaborant ses propres définitions et cherchant à les imposer auprès des instances internationales du commerce et du développement (OMC, OCDE) ou régionales (U.E.) afin de défendre ses intérêts propres, scientifiques, techniques et économiques.

Devant le risque d'un retour aux temps bibliques, avec l'édification d'une nouvelle « *Tour de Babel* », et afin de faire face aux enjeux économiques, les acteurs du nanomonde ont pris conscience du fait que celui-ci ne pourrait se développer efficacement que si un langage commun était établi, reconnu et appliqué au niveau international.

Il a été admis que la normalisation était l'outil qui permettait de répondre à cet objectif d'établir un langage commun, grâce à l'approche consensuelle qui la caractérise, permettant de rassembler tous les acteurs concernés et motivés.

L'ISO (*International Organisation for Standardisation*) s'est saisie de ce problème, initiant une approche normative des nanotechnologies notamment en matière de définition et de mise en place d'une terminologie et d'une nomenclature communes des nanotechnologies au niveau international, afin de contribuer à leur développement et à leur déploiement pour le plus grand profit de toutes les parties prenantes.

LA NORMALISATION

La normalisation (en anglais : *standardisation*) a pour objet de fournir des documents de référence comportant des solutions consensuelles, régulièrement mises à jour, à des problèmes techniques et commerciaux

concernant les produits, les biens et les services qui se posent de façon répétée dans des relations entre partenaires économiques, scientifiques, techniques et sociaux.

Les domaines de la normalisation

Les normes sont présentes partout, dans des domaines aussi variés que la peinture des chaussures, les écrous, les tuyaux, les extincteurs, les panneaux de signalisation, les prises électriques, les spécifications des aciers, les services, etc.

Elles sont critiquées pour notre mode de vie moderne, car elles couvrent aussi bien les CD et les DVD, les protocoles de l'Internet, les cartes de crédit et leurs PIN que la gestion de la qualité des produits industriels et de l'environnement ... Elles sont virtuellement invisibles pour « l'homme de la rue », bien qu'à côté des normes nationales, il en existe plus de 16 000 au niveau international. Elles jouent, par conséquent, un rôle crucial dans le bon fonctionnement de l'économie.

Les finalités des normes

Les normes sont destinées à répondre à des objectifs variés :

- interopérabilité et compatibilité,
- qualité,
- sécurité,
- optimisation,
- information ou quantification,

afin de supporter la commercialisation de produits et de services et de contribuer au développement des marchés.

Elles peuvent ainsi fournir des bases pour la gestion de besoins techniques, de la qualité, de l'environnement ou de la responsabilité sociétale.

Elles permettent dans bien des cas la mise en application de réglementations ou de législations dans ces divers domaines.

Les normes peuvent être formelles, lorsqu'elles sont développées par des organismes de normalisation nationaux, régionaux ou internationaux, tels que :

- l'AFNOR, pour la France ; l'*American National Standards Institute* (ANSI), pour les Etats-Unis ; la *British Standards Institution* (BSI), pour le Royaume-Uni ; le *Deutsches Institut für Normung* (DIN), pour l'Allemagne ; le *Japanese Industrial Standards* (JIS), pour le Japon ; le Comité Européen de Normalisation (CEN) et le Comité Européen de Normalisation Electrotechnique (CENELEC), pour l'Union européenne ;
- l'ISO et l'IEC (*International Electrotechnical Commission*), au niveau mondial.

Les normes peuvent également être dites « informelles », lorsqu'elles sont développées par des orga-

nismes de développement de normes ou SDO (*Standards Development Organisations*), qui sont des organismes présents essentiellement aux Etats-Unis, comme ASTM, IEEE et SAE.

Elles sont même parfois privées, lorsqu'elles sont élaborées et mises en œuvre par une société ou une organisation commerciale afin de spécifier des caractéristiques techniques et/ou commerciales d'un produit (ou d'un service) particulier.

L'ISO (*INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDISATION*)

L'ISO a été fondée le 23 février 1947. C'est une Organisation Non Gouvernementale, qui regroupe actuellement un réseau de 157 pays.

La participation à l'ISO est ouverte uniquement aux organismes de normalisation représentatifs de chaque pays adhérent (AFNOR, ANSI, BSI, DIN...), ou de zones géographiques (comme le Comité Européen de Normalisation, CEN).

L'ISO élabore des documents normatifs pour l'ensemble des secteurs économiques, à l'exception des domaines concernant l'électrotechnique et l'électronique, dont la normalisation est assurée par un organisme spécifique, l'*International Electrotechnical Commission* (IEC).

Les normes ISO sont des documents techniques qui fournissent un cadre permettant de développer des technologies compatibles à l'échelle mondiale. Ces normes sont mises au point par des comités techniques comprenant des experts issus des industries et de la recherche publique. Elles sont d'application volontaire. En tant qu'organisme, l'ISO ne réglemente pas et ne légifère pas : elle n'a pas d'autorité légale lui permettant d'appuyer la mise en œuvre et l'application des normes. En revanche, certains pays ont pu adopter des normes ISO afin d'en faire des éléments de leur arsenal réglementaire.

LA NORMALISATION DES NANOTECHNOLOGIES

Les applications des nanotechnologies vont se propager dans tous les domaines de la vie et permettre de réaliser des progrès considérables dans les secteurs de la communication, de la santé et du confort de vie, de l'énergie, des transports, de l'environnement, des matériaux et des technologies de la connaissance.

Il existe donc un besoin évident de doter l'industrie et la recherche d'outils appropriés qui soient à même de faciliter l'élaboration et l'application de ces technologies.

Il est également fondamental que les agences de régulation, ainsi que les agences de protection de la santé et de l'environnement, disposent de systèmes de mesure

fiables et de protocoles d'évaluation pris en charge par des normes bien conçues et robustes.

La normalisation des nanotechnologies a débuté en décembre 2003, lorsque la Chine a mis en place un « *united working group* » chargé d'établir des normes destinées à caractériser les nanomatériaux qu'elle commençait à produire et à commercialiser dans le monde. En mai 2004, un comité de normalisation a été instauré au Royaume-Uni. En novembre 2004, le Japon a mis en place un groupe d'étude équivalent. La Chine a publié ses sept premières normes nationales sur les nanomatériaux en décembre 2004. Par l'intermédiaire de l'AFNOR, la France a créé le comité technique Nanotechnologies X457 en juin 2005. A l'initiative du Royaume-Uni, l'*International Organisation for Standardisation* a décidé en 2005 de constituer un Comité technique dédié aux nanotechnologies. Pour sa part, l'Union européenne a mandaté le Comité Européen de Normalisation afin qu'il élabore des normes dans le domaine des nanotechnologies. Le CEN a mis en place, en novembre 2005, le Comité technique 352 *Nanotechnology*, dont la première réunion s'est tenue en avril 2006.

La réunion de lancement du *Technical Committee 229 Nanotechnology* de l'ISO s'est tenue à Londres du 9 au 11 novembre 2005, avec la participation d'une quinzaine de pays, dont la France, représentée par une délégation du comité technique X457 de l'AFNOR, le comité miroir national du TC 229. Ce comité technique de l'ISO rassemble aujourd'hui plus de 40 pays et des représentants d'organismes internationaux, comme l'OCDE, l'*International Union for Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) ou le Bureau International des Poids et Mesure, y participent.

Sa première réunion, tenue à Londres, a été dédiée aux déclarations d'intention des différentes délégations, à la mise en place des groupes de travail et, surtout, à la définition de son domaine d'intervention. Son objet a été défini de la manière suivante :

Normalisation dans le domaine des nanotechnologies portant sur l'un ou sur les deux points suivants :

- *comprendre et contrôler la matière et les procédés à l'échelle nanométrique, typiquement, mais pas exclusivement, en-dessous de 100 nm, dans l'une ou plusieurs dimensions, dans la mesure où des phénomènes dépendant de la taille vont permettre de nouvelles applications,*
- *Utiliser les propriétés des matériaux à l'échelle nanométrique qui diffèrent des propriétés des atomes, des molécules et de la matière massive pour créer des matériaux, objets ou systèmes améliorés qui font appel à ces nouvelles propriétés.*

Le comité technique 229 de l'ISO, présidé par le Royaume-Uni, est maintenant composé de quatre groupes de travail. Il a pour vocation de supporter le développement et la commercialisation des produits et des procédés répondant à son objet. Au nombre de ses tâches spécifiques figure l'élaboration de normes relatives aux sujets suivants, répartis entre différents groupes de travail :

- le premier groupe de travail « *JWG 1 : Terminologie et nomenclature* », coordonné par le Canada, a pour mission de définir un langage permettant de nommer et de décrire les produits et les procédés du nanomonde ;
- le deuxième groupe de travail « *JWG 2 : Mesures et caractérisation* », coordonné quant à lui par le Japon, doit définir des méthodes et des protocoles permettant de mesurer et de tester les produits du nanomonde, mettre en place une métrologie en coordination avec le VAMAS (*Versailles Project on Advanced Materials and Standards*) et définir des protocoles de modélisation et de simulation ;
- le troisième groupe de travail, « *WG 3 : Santé, sécurité et aspects environnementaux* », coordonné par les Etats-Unis, est chargé d'élaborer des protocoles permettant de déterminer les effets des produits du nanomonde sur la santé et l'environnement, ainsi que de prévenir les risques à leur exposition, en s'appuyant sur des pratiques scientifiques. Ce groupe de travail se coordonne avec le *Working Party on Manufactured Nanomaterials* (WPMN) et le *Working Party on Nanotechnology* (WPN) de l'OCDE, qui sont chargés de proposer et d'évaluer des lignes directrices spécifiques pour les études de toxicologie et d'éco-toxicologie des produits du nanomonde ;
- enfin, le quatrième groupe de travail, « *WG 4 : Spécifications des nanomatériaux* », mis en place en 2008 et coordonné par la Chine, établit des spécifications des nanomatériaux commercialisés au niveau mondial.

Les documents normatifs préparés par ces groupes de travail seront repris au fur et à mesure de leur publication par les organismes de normalisation nationaux (comme l'AFNOR, dans le cas de la France) et pourront servir de base aux réglementations en cours d'élaboration dans de nombreux pays, ainsi que par l'Union européenne.

Pour sa part, l'*International Electrotechnical Commission* (IEC) a mis en place en juin 2006 le *Technical Committee 113* dédié à la « *Normalisation des nanotechnologies pour les produits électriques et électroniques* », placé sous présidence américaine. Cette commission, qui comporte aujourd'hui 26 membres, a tenu sa première réunion en mars 2007. Trois groupes de travail ont été constitués, dont deux sont communs avec ceux de l'ISO TC 229 :

JWG 1 – Terminologie et nomenclature ;

JWG 2 – Mesure et caractérisation.

Un troisième groupe de travail, dédié à l'évaluation des performances des nanomatériaux pour l'électrotechnique et l'électronique, est spécifique à l'IEC TC 113.

LA NOMENCLATURE DES NANOTECHNOLOGIES

Dans le domaine des nanotechnologies, les chercheurs, qui utilisent de puissants microscopes, désignent souvent certains nanomatériaux en s'inspirant de la forme

d'objets de la vie quotidienne, bien que leurs dimensions physiques soient beaucoup plus petites.

Le préfixe « nano » est souvent ajouté à cette désignation, afin d'indiquer la petite taille de l'objet (N.B : dans les unités du Système International, le préfixe « nano » est utilisé pour représenter un milliardième (10^{-9}) : ainsi, 1 nanomètre = 10^{-9} mètre, soit un milliardième de mètre).

En vue de créer une normalisation unitaire, le groupe de travail *Terminologie et nomenclature* commun à l'ISO et à l'IEC a décidé de prendre en compte les termes utilisés à la fois dans les nanosciences et les nanotechnologies. Le terme « nano-objet », ainsi que d'autres termes nouveaux, ont été inventés afin de permettre l'élaboration d'un système de définitions hiérarchique et rationnel ; cette hiérarchie, qui doit permettre une construction systématique de vocables adéquats, s'inscrit dans une hiérarchie plus vaste de termes relatifs aux nanotechnologies.

Les premiers documents en cours de préparation vont fournir une liste de termes et de définitions concernant ce domaine ; ils constitueront une partie d'un ensemble de documents programmés devant définir la terminologie et la nomenclature couvrant les différents aspects des nanotechnologies. Ces documents sont destinés à faciliter les communications entre les partenaires industriels et commerciaux, les pouvoirs publics et toutes les autres parties prenantes.

Le premier de ces documents, publié le 15 août 2008 sous la référence ISO/TS 27687 est intitulé « *Nanotechnologies – Terminologie et définitions relatives aux nano-objets : nanoparticules, nanofibres et nanofeuillets* ». Il concerne la terminologie et les définitions des petits objets. Ceux-ci peuvent se présenter sous diverses formes, les trois formes de base auxquelles il est fait référence dans le document étant résumées dans le tableau ci-dessous :

Nano-objet (une ou plusieurs dimensions externes d'échelle nanométrique)
Nanoparticule (3 dimensions externes d'échelle nanométrique)
Nanofibre (2 dimensions externes d'échelle nanométrique)
Nanofeuillet (1 dimension externe d'échelle nanométrique)
<i>Nanofil</i> (Nanofibre électriquement conductrice)
<i>Nanotube</i> (Nanofibre creuse)
<i>Nanotige</i> (Nanofibre pleine)

Tableau 1.

Ce document s'inscrit dans le chapitre « nanomatériaux » du programme du groupe de travail JWG1 du TC 229 de l'ISO, qui traite de 6 thèmes principaux :

- constitution d'une base de définitions,

- les nanomatériaux,
- les systèmes et applications,
- les nano-procédés,
- la nano-production,
- les nano-mesures.

Il couvre une dizaine de projets spécifiques, proposés et supportés par un nombre minimum de pays et validés, au préalable, par le Comité stratégique du TC 229, comme cela est résumé dans la figure 1 ci-dessous. Chaque projet fait appel à une douzaine d'experts de différentes nationalités, qui travaillent en liaison avec le *Terminology Committee* ICTNS de l'IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*).

Trois nouveaux documents de ce type devraient être publiés début 2010 :

- *ISO TS 80004-4 / Nanotechnologies – Terminology and definitions – Part 4: Carbon nano-objects* ;
- *Outline of a method for nanomaterials classification* ;
- *ISO TR 12802 / Framework concepts for terminology (Framework and Core terms)*.

Ce dernier document constitue un référentiel qui permettra de nommer et de décrire les nanomatériaux. Il permettra (notamment aux pouvoirs publics et aux industriels) d'avoir une approche cohérente vis-à-vis de la réglementation REACH sur les produits chimiques quant à son application aux nanomatériaux.

Les nanomatériaux sont des matériaux dont les caractéristiques géométriques ou structurales sont à l'échelle nanométrique (qui couvre une gamme de dimensions s'étendant typiquement, mais non-exclusivement, de 1 nm à 100 nm). Il faut souligner que, si la dimension

nanométrique (de l'ordre du milliardième de mètre) est abordée depuis bien longtemps par les chimistes (pour lesquels c'est, en effet, l'échelle de travail), l'élaboration de nanomatériaux, qui repose sur la nanostructuration de la matière (c'est-à-dire le contrôle de la structure du matériau à l'échelle nanométrique), apparaît bien comme une nouvelle frontière d'innovation, pour les chimistes. Cette nanostructuration permet notamment :

- le contrôle des propriétés macroscopiques des matériaux ;
 - le développement de matériaux susceptibles de présenter des fonctionnalités multiples et innovantes ;
- Les nanomatériaux recouvrent en fait deux familles de matériaux :
- les matériaux nanostructurés présentant une structure interne ou superficielle à l'échelle nanométrique, que cette structure soit homogène (intrinsèque) ou hétérogène (dans le cas de structures dans lesquelles des objets nanométriques interviennent en se structurant, dans le volume ou en surface) ;
 - les nano-objets (nanoparticules, nanofibres et nanotubes, nanofeuillets), en tant que tels, ou intégrés au sein de matériaux : ce sont des objets tels que définis dans le document ISO-TS 27687, dont au moins une des dimensions est à l'échelle nanométrique.
- Ces nanomatériaux représentent dès aujourd'hui un enjeu économique et sociétal majeur : ce sont des vecteurs pour l'innovation actuelle et future, qui permettront d'éviter le recours à des matières premières rares et coûteuses, de réaliser des économies de matières pre-

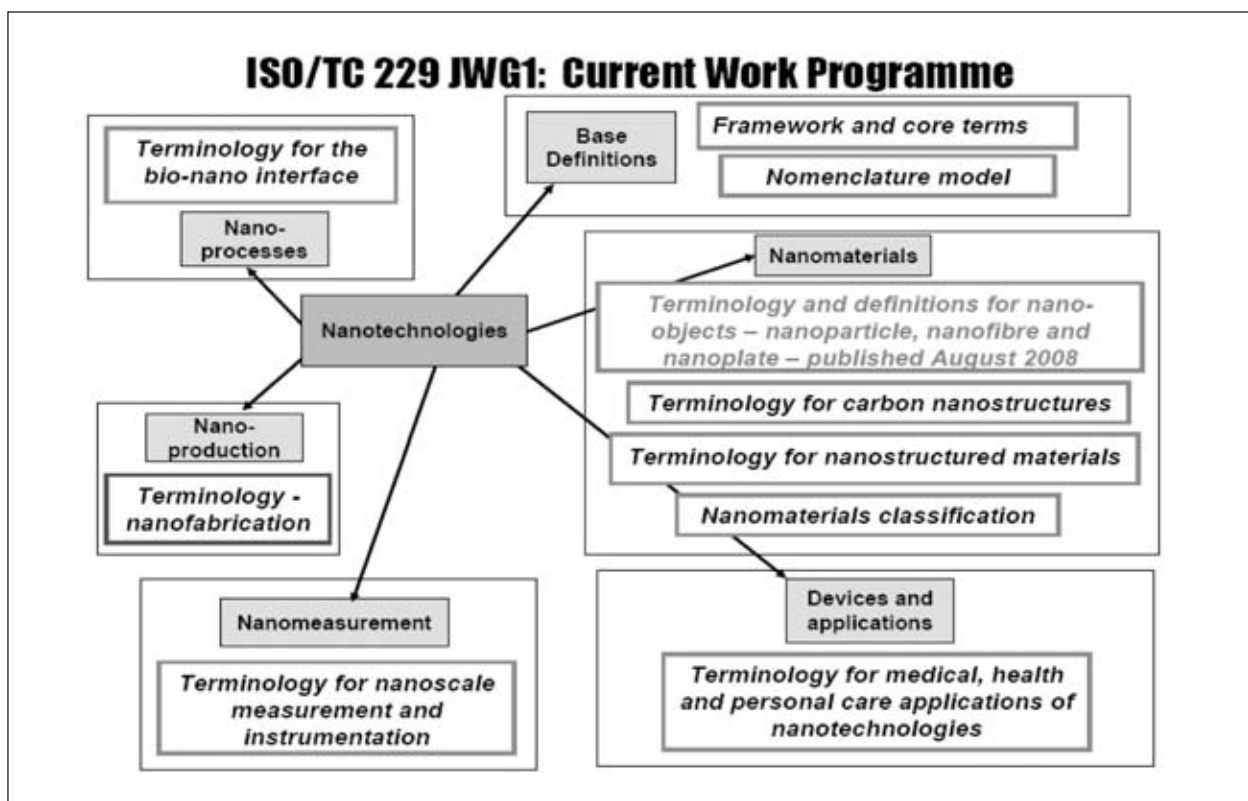


Figure 1.

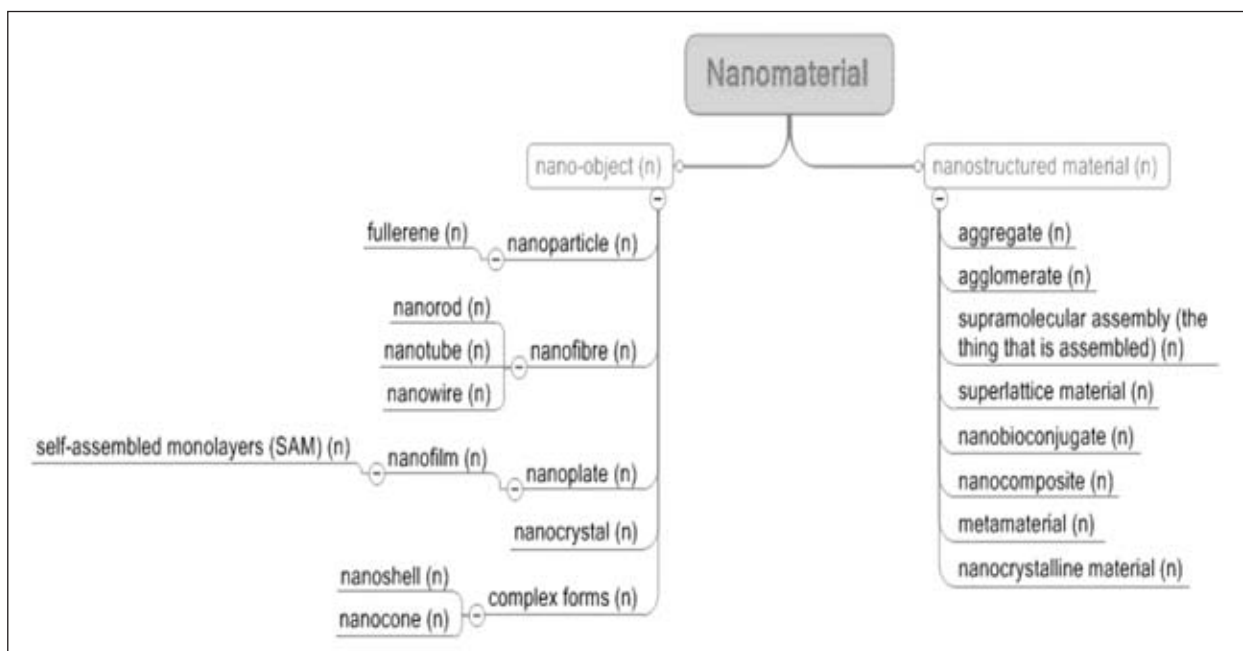


Figure 2.

mières et d'énergie, ainsi que d'élaborer de nouveaux produits.

CONCLUSION

Un long travail reste à faire sur le plan normatif pour définir, décrire et nommer l'ensemble du nanomonde. Mais, d'ores et déjà, un certain nombre de documents sont (ou seront prochainement) disponibles, concernant notamment les nanomatériaux. Ces premiers documents sont attendus avec grand intérêt, car ils constitueront une base technique permettant l'adaptation de la réglementation européenne REACH aux spécificités des nanomatériaux.

Ce travail de terminologie est difficile, il est parfois fastidieux, mais il est absolument indispensable. Il est passionnant, pour les experts qui y contribuent, car ceux-ci inventent une terminologie permettant de décrire un monde nouveau, dans un langage qui soit commun à l'ensemble de la communauté internationale.

Si la France dispose d'une représentation correspondant au niveau des ses ambitions et de ses compétences en la matière au sein de certains des groupes de travail de l'ISO TC 229, nous ne pouvons que regretter qu'un seul expert, détaché du CNRS, contribue aux travaux du groupe de travail *Terminologie et nomenclature*, ce qui est sans doute bien peu, si l'on veut défendre efficacement les positions françaises dans les différents projets en cours.