

**IMPLICATIONS SOCIALES ET  
ENVIRONNEMENTALES DU DÉVELOPPEMENT  
DES NANOTECHNOLOGIES EN AFRIQUE**



**Ndeke Musee  
Guillermo Foladori  
David Azoulay**  
avec la collaboration de  
Noela Invernizzi et Trust  
Saidi

Pretoria, Afrique du Sud  
Zacatecas, Mexique  
Genève, Suisse

Cette brochure a vu le jour grâce au soutien de l'IPEN au sein de l'International Program for the Implementation of SAICM (Programme international pour l'implémentation de la SAICM, *Strategic Approach to International Chemicals Management*, Approche stratégique de la gestion des produits chimiques internationaux), L'IPEN a reçu le soutien financier de plusieurs donateurs pour cet ouvrage, y compris celui de la *Swedish Society for Nature Conservation* (SSNC, Société suédoise pour la préservation de la nature). Nul avis ici exposé ne saurait être considéré comme le reflet de l'opinion officielle de la SSNC. Cette brochure incorpore certaines parties de son homologue pour l'Amérique Latine (*Implications sociales et environnementales du développement des nanotechnologies en Amérique latine et dans les Caraïbes*), *ReLANS /IPEN*, 2012).

Les auteurs remercient : SemiaGharbi (AEEFG - Association d'éducation environnementale pour la future génération, Tunisie) et Emmanuel Odjam-Akumatey (*Ecological Restorations*, Restauration écologique, Ghana) pour leurs commentaires sur la première ébauche du document.

**Le CSIR** (*Council for Scientific and Industrial Research*, Conseil pour la recherche scientifique et industrielle) en Afrique du Sud est l'une des organisations phares en termes de recherche, développement et mises en œuvre scientifiques et industriels en Afrique. Il prend en charge des recherches et développements destinés à la croissance socio-économique. Le CSIR héberge l'un des deux pôles d'innovation nanotechnologiques sud-africains (*NIC*) créés en partenariat avec le Département des sciences et technologies. En outre, cette organisation est à la pointe de la recherche en Afrique sur l'évaluation des risques liés aux nanomatériaux sur les écosystèmes. Pour en savoir plus, veuillez contacter Ndeke Musee à l'adresse [nmusee@csir.co.za](mailto:nmusee@csir.co.za) ou sur [www.csir.co.za](http://www.csir.co.za)

**Le ReLANS** (Réseau nanotechnologies et société en Amérique Latine) est un réseau académique composé de chercheurs issus de diverses disciplines s'intéressant au développement des nanotechnologies en Amérique latine. Ce réseau est pionnier dans l'analyse des impacts des nanotechnologies sur les travailleurs, thème peu considéré dans les discussions globales, malgré son importance. Le site web de ReLANS comporte une section entièrement consacrée aux documents et organismes s'intéressant à ce thème de la plus haute importance : [www.relans.org](http://www.relans.org)

**L'IPEN** est une organisation internationale phare tâchant de créer et de mettre en place des politiques pour une utilisation des produits chimiques sans risques, ainsi que des pratiques préservant la santé et l'environnement dans le monde entier. La mission de l'IPEN est d'atteindre un avenir exempt de produits toxiques, pour tous. L'IPEN rassemble des groupes d'intérêt public travaillant sur les questions de santé publique et d'environnement dans les pays en voie de développement et en transition. Le réseau mondial de l'IPEN comprend plus de 700 organisations d'intérêt public réparties dans 116 pays. En 2009, l'IPEN a créé un groupe de travail sur les nanotechnologies présidé par David Azoulay, avocat directeur du Centre pour le droit environnemental international (*CIEL*) à Genève et directeur du projet Nano du CIEL. Pour obtenir de plus amples informations, veuillez contacter David Azoulay à l'adresse [dazoulay@ciel.org](mailto:dazoulay@ciel.org), ou sur [www.ciel.org](http://www.ciel.org) et [www.ipen.org](http://www.ipen.org).

Musee, N. ; Foladori, G. & Azoulay, D. (2012). *Implications sociales et environnementales du développement des nanotechnologies en Afrique*

CSIR (Groupe de recherche sur les impacts environnementaux des nanotechnologies, Afrique du Sud)

ReLANS (Réseau nanotechnologies et société en Amérique Latine)

IPEN (Réseau international d'élimination des POP ou polluants organiques persistants).

## TABLE DES MATIÈRES

### Introduction

1. Qu'est-ce que les nanotechnologies ?
2. Le marché des produits nanotechnologiques
3. Les nanotechnologies en Afrique
4. Les risques des nanotechnologies sur la santé et l'environnement
5. L'exposition des hommes aux nanomatériaux manufacturés et approches de l'évaluation des risques
6. Implications des nanotechnologies sur l'emploi
7. SAICM et les recommandations destinées aux pays africains
8. Bibliographie

# Introduction

Aux quatre coins du monde, les nanotechnologies sont présentées comme une révolution technologique qui contribuera à résoudre toutes sortes de problèmes. Selon la tendance actuelle, les nanotechnologies promettent de fournir de nouvelles façons de relever certains défis chroniques de l'Afrique, comme le traitement de la tuberculose et de la malaria, la potabilité de l'eau, la conservation de la nourriture, et la diversification des sources d'énergie, entre autres nombreuses applications. Toutefois, les risques potentiels et les implications sociales de ces nouvelles technologies ne sont que rarement abordés. À une échelle globale, la conscience de ces problèmes et les capacités à les résoudre sont très faibles, à la fois dans la société civile et au sein des gouvernements, ce qui empêche ces acteurs de jouer leur rôle dans la société et d'assurer le bien commun.

Les recherches sur les nanotechnologies, et la commercialisation accrue de produits contenant des nanomatériaux manufacturés (généralement appelés nanoproduits), sont en cours en Afrique (par exemple en Afrique du Sud, au Soudan, au Kenya, au Zimbabwe, en Égypte, en Algérie). Dans plusieurs pays africains, les nanotechnologies ont été déclarées secteur stratégique de développement scientifique et technologique. Pour atteindre ces objectifs stratégiques, des fonds publics ont été ou sont utilisés afin d'encourager le développement des nanotechnologies grâce à la mise en place de réseaux de recherche et de centres de recherche. Ainsi, l'Afrique du Sud a dépensé plus d'un demi-milliard de rands pour soutenir la recherche et le développement des nanotechnologies dans le pays de 2005 à 2012. En outre, des cursus universitaires sur les nanotechnologies ont été lancés dans certains pays, comme l'Afrique du Sud, l'Égypte et l'Algérie.

Même si les risques potentiels des nanomatériaux sur la santé et l'environnement sont scientifiquement documentés et si de nombreuses incertitudes persistent, les fonds publics consacrés à l'évaluation de ces risques sont extrêmement faibles. En conséquence, la politique actuelle quant à cette technologie est loin de suivre le principe de précaution et les produits entrent sur le marché sans réglementation et sans étiquetage, ce qui ne garantit ni la sécurité du produit, ni l'information du consommateur.

Conscients du manque d'information, de réglementation et de supervision des nanotechnologies, des délégations gouvernementales, des experts et des organisations de représentants de la société civile ont appelé en Afrique, entre autres propositions, à la mise en place d'un cadre réglementaire basé sur la précaution, à l'occasion de plusieurs résolutions adoptées à l'unanimité lors de rencontres régionales de l'Approche stratégique pour la gestion internationale des produits chimiques internationaux (SAICM ou Strategic Approach to International Chemicals Management) en janvier 2010 à Abidjan, en Côte d'Ivoire et en avril 2011 à Nairobi, au Kenya.





Depuis l'émergence des nanotechnologies, les nanomatériaux manufacturés ont été reconnus comme une question de politique émergente. Des réunions régionales et globales ont donc été tenues dans le but d'élaborer des recommandations et des propositions de modifications aux résolutions qui devaient être adoptées par consensus durant la Troisième conférence internationale de Gestion des Produits Chimiques (ICCM3) qui se tiendra en septembre 2012 à Nairobi, au Kenya.

Dans ce contexte, cette brochure informative a été développée pour : (i) fournir un panorama du développement des nanotechnologies en Afrique ; (ii) présenter les conséquences des nanotechnologies sur la société, l'environnement et la santé des travailleurs et des consommateurs en Afrique ; et (iii) stimuler et renforcer la participation des parties prenantes dans les débats nationaux et internationaux sur les actions à mettre en place par les gouvernements, l'industrie et la société civile afin de créer un environnement respectueux du principe de précaution pour un développement de ces technologies en toute sécurité.

# 1. Qu'est-ce que les nanotechnologies ?

Les nanotechnologies sont des procédés de manipulation de la matière à une échelle moléculaire et atomique. Cela signifie que l'on combine artificiellement des atomes et des molécules pour créer des particules et des structures dotées de fonctions différentes à partir du même matériau à une plus grande échelle (ce qu'on appelle aussi le matériau en vrac ou produit en vrac). Par souci pratique, on dit que les nanotechnologies s'appliquent aux matériaux d'une dimension de 100 nanomètres, même si de nouvelles fonctions et caractéristiques apparaissent souvent dès 300 nanomètres ou plus. Un nanomètre est une unité de mesure correspondant à un millionième de millimètre ( $1 \times 10^{-9}$  m). À titre d'exemple, une hélice d'ADN mesure environ 2 nm, un globule rouge environ 7 000 nm, et un cheveu humain mesure environ 80 000 nm de large. La dernière colonne du tableau qui suit illustre le niveau auquel les nanotechnologies opèrent.

**Table 1.** Le monde nano

<p><b>Un mètre (m).</b> Le monde macro</p>	 <p>1 personne = 1,70 mètre</p>
<p><b>Un millimètre (mm)</b> (1 000 millimètres = 1 mètre). Le monde micro</p>	 <p>1 fourmi = 5 millimètres</p>
<p><b>Un micromètre (µm)</b> (1 000 micromètres = 1 millimètre). Le monde cellulaire</p>	 <p>1 cellule = 20 micromètres</p>
<p><b>Un nanomètre (nm)</b> (1 000 nanomètres = 1 micromètre) Le monde des nanotechnologies</p>	 <p>1 virus = 60 nanomètres</p>

Source : ReLANS

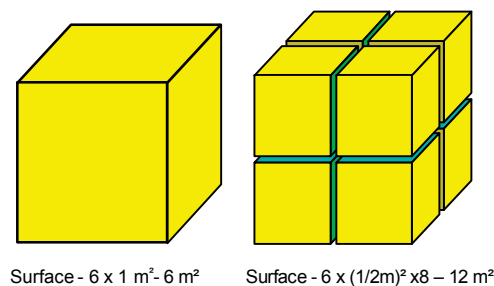
En travaillant la matière à une échelle si infime, on se trouve face à une révolution technologique, car à cette échelle, les matériaux révèlent des propriétés physiques, chimiques et biologiques (ou toxicologiques) nouvelles et uniques à partir comparées déjà leurs équivalents en vrac. Cela s'apparente à découvrir un monde de nouveaux matériaux à partir de matériaux existants. Les changements de comportement à l'échelle nano sont dus à deux effets distincts : les effets de quantum quantiques et de surface.

Les effets quantiques donnent aux matériaux de taille nano d'autres propriétés optiques, électriques, thermiques, mécaniques (résistance/flexibilité) et magnétiques. Les métaux, par exemple, sont plus durs et résistants au niveau nano. Le carbone dans sa forme de graphite (comme dans un crayon), est mou, mais lorsqu'il est traité à l'échelle nano et manufacturé sous forme de

tubes, le matériau créé (des nanotubes de carbone par exemple) est jusqu'à 100 fois plus dur qu'un graphite à échelle macro. Les propriétés optiques des matériaux changent, acquérant d'autres couleurs et reflétant la lumière de façon différente. Par exemple, l'or devient rouge, lorsqu'il est manufacturé à environ 30 nm, et devient vert à environ 3 nm.

Par ailleurs, plus la taille de la particule est petite, plus la surface de contact extérieure est vaste, et par conséquent, sa réactivité augmente. Dans le schéma ci-dessous, la surface du premier cube est de 6 m<sup>2</sup>, alors que celui qui se compose de 8 petits cubes est de 12 m<sup>2</sup> pour la même masse. Les atomes situés sur la surface externe interagissent plus aisément avec les atomes des autres matières avoisinantes. C'est pour cette raison que l'or, chimiquement stable dans sa forme en vrac, devient hautement réactif lorsqu'il est manufacturé à l'échelle nano.

**Figure 1.** Surface de contact



Ces effets confèrent aux nanomatériaux de nouvelles propriétés, y compris des propriétés toxicologiques et éco-toxicologiques inédites, comme c'est par exemple le cas de l'or, de l'argent et des oxydes de cuivre. La réactivité accrue et le changement des propriétés chimiques et physiques, la mobilité et la capacité d'absorption accrues, la tendance à agglomérer et désagglomérer, conduit donc à un besoin de nouveaux développements scientifiques et technologiques pour comprendre l'impact toxique potentiel que les nanomatériaux manufacturés peuvent présenter pour la santé et l'environnement.

La nature produit aussi des nanoparticules à partir de sources telles que les éruptions volcaniques, les nuages, les fumées, les incendies, etc. Les êtres humains produisent aussi indirectement des nanoparticules (par exemple, à partir de la combustion contrôlée d'un moteur) et ont utilisé par le passé certaines nanopropriétés des matériaux en fabriquant de l'artisanat artésien (comme en combinant du verre et des poudres de métal ou en procédant à des dilutions afin de créer des vitraux, si courants au Moyen Âge, ou en produisant la teinture maya maintenant connue sous le nom de « bleu indigo »).

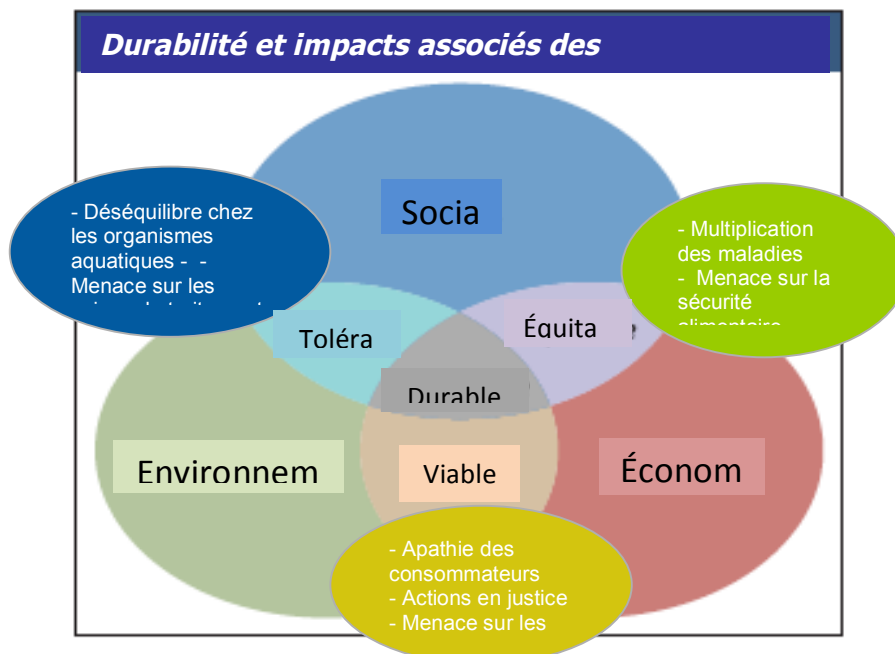
**Figure 2.** Coupe de Lycurgus



Source: British Museum. IV<sup>e</sup> siècle apr. J.-C.  
Verre comportant des nanoparticules d'or et d'argent. Exposé à une lumière extérieure, il a des reflets verts et quand la lumière vient de l'intérieur, il a des reflets rouges.

La nouveauté des nanoparticules actuellement manufacturées provient de la possibilité nouvelle de manufacturer précisément ces nouvelles particules, structures et produits dérivés à échelle industrielle. Les différentes formes de vie sur terre n'ont pas adopté de mécanismes leur permettant de gérer les éventuels effets nocifs des nanoparticules manufacturées. De plus, les données croissantes fournies par la communauté scientifique sur la toxicité des nanoparticules manufacturées semblent indiquer des effets nocifs potentiellement très graves. Par le passé, les révolutions technologiques ou les usages de nouvelles matières, comme l'amiante ou les polluants organiques persistants (POP), ont prouvé qu'il était bien plus aisé et moins coûteux de prévenir de tels dégâts plutôt que d'adapter ou d'atténuer les dommages une fois qu'ils sont matérialisés (dans les cas où cela est même possible). Cette expérience passée de l'introduction de nouvelles technologies ou de nouveaux matériaux pousse à une approche basée sur le principe de précaution afin de fournir une plateforme pour que cette technologie puisse prospérer en étant largement adoptée socialement. Il est par conséquent primordial que la société dans son ensemble se demande comment les nanotechnologies peuvent respecter les trois principes de la durabilité qu'est l'atteinte des objectifs sociaux, environnementaux et économiques, tout en évitant les impacts indésirables.

**Figure 3.** Prévention des effets nocifs dus aux nanotechnologies : limiter la sauvegarder la diffusion des nanotechnologies en Afrique du Sud en privilégiant les développements sociaux et économiques, tout en adoptant un angle permettant de réduire systématiquement les risques. (Source : Ndeke Musee, CSIR, Afrique du Sud)





Dans de nombreux cas, les nanoproducts s'inspirent de la nature et tentent de copier ses fonctions. Par exemple, la feuille de lotus dispose d'une surface de nanoparticules hydrophobes, ce qui peut servir de source d'inspiration pour la confection de couches minces capables de repousser l'eau. De la même façon, l'extrémité des pattes des lézards sont dotées de nanopils si petits qu'ils créent des forces d'attraction moléculaire aidant l'animal à s'agripper à des surfaces verticales et même défier les lois de la gravité. La section suivante fournit un aperçu des types de produits et de marchés.

**Figure 4.** Feuille de lotus (hydrophobe)



## 2. Le marché des produits nanotechnologiques

L'historique des développements technologiques nous offre un aperçu de la façon dont une technologie peut perdurer pendant des dizaines d'années, voire des siècles, sur le marché. Les nanotechnologies ne constitueront probablement pas une exception à la règle. Il est par conséquent nécessaire de comprendre comment l'acceptation grandissante des nanotechnologies par la société crée une demande pour les produits, et d'illustrer ce que les données économiques, de production et de financement de la recherche signifient en termes d'effets potentiels sur la société, l'environnement et la santé dans le contexte africain.

Actuellement, il existe de nombreux biens sur le marché qui sont produits à l'aide des capacités des nanotechnologies, ou qui se fondent sur les nanotechnologies (on les appelle en général les nanoproduits). Ces produits se trouvent dans des secteurs aussi variés que l'alimentaire, les cosmétiques, l'électroménager, les ordinateurs, les téléphones portables, les médicaments, les textiles, les céramiques, les matériaux de construction, les équipements sportifs et l'armement militaire.

L'annexe à l'ouvrage « *Out of the Laboratory and into the Food Chain: Nanotechnology in Food and Agriculture* » (Du laboratoire à la chaîne alimentaire : les nanotechnologies dans l'agroalimentaire), de Miller & Sejen présente 106 aliments, compléments alimentaires et matériaux entrant en contact avec les aliments et les produits agrochimiques contenant des nanoparticules qui sont actuellement sur le marché.

Dans le domaine de l'alimentaire, les nanotechnologies sont utilisées dans des produits, des conditionnements, des compléments nutritionnels, et la production agricole. Il existe plus de 200 entreprises qui font des recherches et/ou produisent des biens utilisant les nanotechnologies dans ce secteur. Les nanotechnologies sont utilisées sur le produit même pour, par exemple, homogénéiser la texture et améliorer le goût des crèmes ou des glaces, ou réduire les matières grasses, comme Kraft, Unilever, Nestlé, et Blue Pacific Flavours l'ont constaté dans leurs recherches. Les nanotechnologies servent aussi à ajouter des compléments alimentaires contenus dans des nanocapsules, comme les oméga 3, les fortifiants et les compléments minceur. La recherche visant à incorporer des cosmétiques dans les produits alimentaires est aussi actuellement menée par L'Oréal, en collaboration avec Nestlé ou BASF. Les nanotechnologies servent également au conditionnement des aliments afin de conférer au produit une plus longue durée de conservation, comme la bouteille en nanocéramique de Miller Brewing, ou afin que la matière première ne périsse pas, comme McDonald's ou Mr. Kipling l'ont expérimenté. De grandes entreprises de production de graines, comme Syngenta, Monsanto, Bayer, et Dow Chemical, mènent des recherches et produisent des nanoformules et/ou des formules contenues dans des nanocapsules pour leurs produits agrochimiques et leurs enrobages de graines.

L'industrie cosmétique est celle qui offre le plus de produits issus des nanotechnologies sur le marché. La majorité des firmes internationales de cosmétique proposent des crèmes antirides, des crèmes solaires et des shampooings usant des nanotechnologies, y compris Chanel, Clinique, L'Oréal, Revlon, Johnson & Johnson, Procter & Gamble, et Lancôme. En ayant recours à des matériaux à échelle nano dans un filtre solaire, au lieu de se servir du matériau en vrac, la crème peut être transparente, ce qui permet à la crème d'échapper à la couleur traditionnellement blanche si peu appréciée. Les nanotechnologies servent aussi, entre autres fonctions, à diffuser la lumière et masquer les rides. Il existe des brosses à dents et des dentifrices dotés de nanoparticules d'argent utilisés comme bactéricide. En conséquence des preuves qui s'accumulent sur les risques potentiels pour la santé et l'environnement, l'Union Européenne a maintenant revu sa réglementation sur les cosmétiques et biocides pour y inclure des provisions spécifiques aux nanotechnologies, y compris un étiquetage obligatoire et une évaluation spécifique des risques liés aux nanomatériaux. Aucun de ces outils réglementaires n'existe actuellement en Afrique.

**Figure 5.** Les nanotechnologies dans les cosmétiques



Divers produits électroménagers comprennent des nanoparticules d'argent, qui servent de bactéricide. On en trouve dans les climatiseurs, les réfrigérateurs, les machines à laver et les lave-vaisselle de Samsung ou LG. Les couches minces créées à l'aide des nanotechnologies servent à recouvrir les sols ; des nanoparticules sont incorporées à la peinture et dans les aérosols qui s'appliquent sur les meubles et les sols. Le verre est traité à l'aide des nanotechnologies pour empêcher la poussière et les saletés d'adhérer et pour faciliter le séchage. Dans l'industrie du textile, l'application des nanotechnologies peut permettre aux vêtements de résister aux taches et aux plis. Dans certains cas, des nanoparticules d'argent sont incorporées pour rendre le vêtement antibactérien ; cela ne se limite pas aux tenues des infirmières et des médecins, mais s'applique aussi aux essuie-mains, aux draps et aux chaussettes.

Les nanotechnologies sont utilisées pour les équipements sportifs comme les raquettes de tennis, les clubs de golf, les cadres de vélo, les chaussures de sport et les vêtements anti-intempéries. Les plus grandes marques d'ordinateurs, de téléphones portables et de jeux vidéo utilisent des batteries au lithium dotées d'une anode à nanorevêtement, et utilisent des dispositifs nano-électromécaniques. Les automobiles de luxe sont maintenant fournies avec plus de 30 pièces contenant des nanodispositifs ou combinant des nanoparticules (comme les peintures anti-écaillures et les revêtements intérieurs antibactériens). D'un autre côté, la nanomédecine promet d'importantes avancées, comme une libération ciblée des médicaments afin d'en améliorer l'efficacité et d'en réduire les effets secondaires.

Le domaine de la défense et de l'industrie de l'armement bénéficie de beaucoup des développements des nanotechnologies et les oriente en grande partie. Depuis les missiles de précision aux super-explosifs, en passant par les capteurs et gilets pare-balles, les intérêts militaires sont liés aux avancées des nanotechnologies.

Presque tous les secteurs de l'industrie proposent des produits issus des nanotechnologies sur le marché. Selon la dernière étude du Woodrow Wilson International Center for Scholar, menée en mars 2011, il y avait plus de 1 317 produits des nanotechnologies sur le marché mondial, la plupart d'entre eux étant disponibles sur Internet, donc disponibles aux quatre coins du monde, y compris en Afrique.

**Figure 6.** Les nanoproducts sur le marché



Source : *David Hawxhurst, PEN*  
(la majorité des produits sur le marché sont des produits de luxe)

### 3. Les nanotechnologies en Afrique

Tandis que l'Afrique est un continent riche en ressources naturelles, de nombreux Africains vivent dans le dénuement en raison de plusieurs facteurs socio-économiques, tels qu'un déficit d'apprentissage technologique et de mise en œuvre de politiques technologiques adaptées aux problèmes économiques nationaux, la fuite des cerveaux parmi les personnels les plus qualifiés, et un ensemble de facteurs liés aux grands défis de la globalisation.

Il existe de grandes disparités dans les niveaux d'éducation et de recherche scientifique et technologique parmi les nations africaines et le monde développé, mais aussi sur le continent africain même. Seules quatre universités africaines figurent parmi les 500 meilleures du monde, et elles se trouvent toutes en Afrique du Sud. De la même façon, les huit meilleures universités africaines sont situées en Afrique du Sud. Il n'y a donc rien d'étonnant au fait que l'Afrique du Sud soit le premier pays d'Afrique en termes de ressources humaines, mais aussi de recherche et de développement des nanotechnologies. À la lumière de ces disparités éducatives, le continent est encore à la traîne en termes de développement technologique. Toutefois, tel n'a pas toujours été le cas. Avant la colonisation européenne, certaines régions (comme l'Éthiopie ou l'Égypte) ont eu des centres de connaissances de pointe, et des étudiants venaient d'Europe et d'Asie pour se former dans certains domaines. Tout cela a disparu ou a été balayé par le processus de colonisation.

Les capacités d'enseignement et de R&D sur le continent africain s'orientent aujourd'hui principalement vers les modèles européen et américain. Des organisations internationales telles que la Banque mondiale et des fondations privées telles que Fulbright, Rockefeller, Gates, Carnegie, et Ford, ainsi que de nombreuses agences de développement occidentales comme l'Organisation des Pays-Bas pour une coopération internationale dans l'enseignement supérieur (*Netherlands Organization for International Cooperation in Higher Education*), l'Agence canadienne de développement international, SIDA/SAREC (Agence de coopération suédoise pour le développement international/Département de la coopération en matière de recherche, Suède), et le Department of International Development du Royaume-Uni (Département pour le développement international), contribuent au développement des universités africaines, ce qui, d'une certaine façon, perpétue les paradigmes pédagogiques existants. Les nanotechnologies font partie de ce cadre théorique.

Figure 7. Afrique



La recherche sur les nanotechnologies a commencé, au niveau mondial, dans les années 80 et 90, avant même que le terme de nanomatériau ne soit créé (le terme privilégié était à l'époque « particule ultrafine »). Quand les États-Unis ont lancé l'Initiative nationale pour les nanotechnologies (ou *NNI* pour *National Nanotechnology Initiative*) en 2000, ils ont encouragé le développement des sciences et technologies connexes dans le reste du monde. Aujourd'hui, l'avant-garde de la recherche et de la production de biens et matériaux utilisant les nanotechnologies se trouve aux États-Unis, en Allemagne, dans le Royaume-Uni, au Japon et en Chine. En outre, tous les pays développés, et de nombreux pays en voie de développement, dont certains en Afrique, mènent aussi des recherches et commencent à produire des biens et matériaux utilisant les nanotechnologies.

### 3.1 Afrique du Sud

L'Afrique du Sud a lancé l'Initiative sud-africaine pour les nanotechnologies (ou *SANI* pour *South African Nanotechnology Initiative*) en 2002.

En 2006, la stratégie nationale pour les nanotechnologies (*National Nanotechnology Strategy*) a été publiée dans le but de soutenir et promouvoir la R&D des nanotechnologies, et de développer les ressources humaines dans ce domaine. La Stratégie se développe autour de deux noyaux : le noyau social qui promeut les applications dans le domaine de la santé, de l'eau et de l'énergie, tandis que le noyau industriel vise à soutenir les traitements chimiques et biologiques, l'extraction minière et minérale, et la fabrication de matériaux de pointe. La Stratégie comporte des interventions clés, comme la construction de bâtiments de recherche destinés à plusieurs types d'utilisateurs, une collaboration entre plusieurs réseaux de recherche, le développement des ressources humaines, et l'établissement de projets phares. L'objectif des projets phares consiste à démontrer les bienfaits des nanotechnologies dans le but d'améliorer la qualité de vie, la promotion du développement économique et la stimulation de l'innovation et du transfert de technologies.

**Figure 8.** SANI (Afrique du Sud)



Deux Centres nationaux d'innovation (*National Innovation Centres* ou *NIC*,) ont été développés dans le cadre de la mise en place de la Stratégie. Il s'agit du centre national pour les matériaux nanostructurés (*NCNSM, National Centre for Nano-Structured Materials*) faisant partie du Centre pour la recherche scientifique et industrielle (*Council for Scientific and Industrial Research* ou *CSIR*), et Mintek, deux structures qui font office de bâtiments de recherche destinés à plusieurs types d'utilisateurs. Ces deux *NIC* sont des centres de recherche publique développés avec le soutien financier du Département des sciences et technologies (*DST, Department of Science and Technology*). En outre, ces deux *NIC* (*DST/CSIR* et *DST/MINTEK*) ont aussi mis en

place des partenariats avec des entreprises privées, comme SASOL, ECO-Struct International, Biomass Corp., et De Beers.

Le NCNSM héberge des bâtiments de caractérisation à la pointe de la technologie, comportant une sonde à balayage optique, un système d'imagerie et de radiographie. Ce centre met en avant des recherches de pointe sur des matériaux innovants et plusieurs projets sont en cours. Au CSIR, la recherche sur les divers aspects des nanotechnologies est menée par le biais de l'établissement de plateformes de recherche. À des fins d'illustration, trois de ces plateformes sont évoquées en guise d'exemples. La première plateforme comporte des projets liés :

- Au développement de nanocomposants de pointe en polymère destinés à des applications industrielles, matérielles et aéronautiques ; aux polymères biodégradables et nanocatalyseurs destinés à des applications industrielles ; à la synthèse des nanoparticules, des nanoparticules de carbone et des quantum dots, destinés à diverses applications industrielles comprenant la purification de l'eau, en particulier dans les régions les plus reculées.

**Figure 9.** NCNSM (Afrique du Sud))



National Centre for Nano-Structured Materials (NCNSM), Pretoria, South Africa, 2007

La deuxième plateforme de recherche est hébergée par le CSIR dans la Division des ressources naturelles et de l'environnement (*Natural Resources and the Environment Division*), en partenariat avec le DST. Depuis 2007, elle concentre ses recherches principalement sur les questions de santé, de sécurité des nanotechnologies et leurs liens avec l'environnement (*Nano-HSE*). La plateforme de recherche Nano-HSE a pour mission de :

- Développer une base de données visant à recenser les informations sur la nanotoxicité, et la nanoécotoxicité des nanomatériaux.
- Soutenir la recherche sur les effets des nanomatériaux sur divers organismes.
- Développer les ressources humaines qualifiées pour étudier les risques liés aux nanotechnologies ; développer l'infrastructure appropriée pour mener la recherche sur les risques liés aux nanotechnologies.

Les partenaires participant à cette initiative incluent les Universités de Stellenbosch, Pretoria, Tshwane, et Johannesburg, ainsi que la Commission de recherche sur l'eau (*Water Research Commission*). Les collaborateurs internationaux de ce projet incluent les Universités de Curtin et Western Sydney, en Australie, et de l'Arizona State aux États-Unis. Les projets en cours visent à :



- Comprendre le cycle de vie, le comportement et les effets des nanomatériaux dans les systèmes aquatiques tels que les usines de traitement des eaux usées.
- Modéliser les risques des nanomatériaux dans divers écosystèmes (eau, sédiments, terre) ; étudier les effets des nanomatériaux sur les organismes vivants à l'aide de doses à concentration non létale administrés à des plantes et des invertébrés.

Une troisième plateforme du DST/CSIR s'intéresse à la nanomédecine et cherche à étudier la pauvreté et les maladies infectieuses y étant liées, notamment la tuberculose, la malaria et le VIH/sida. Cette plateforme consacre l'essentiel de ses recherches à la tuberculose et a déposé le brevet d'un système de libération ciblée de médicament utilisant les nanotechnologies se trouvant actuellement en phase de développement préclinique. En 2011, cette plateforme a été sélectionnée et est devenue Centre d'excellence pour l'innovation médicale en Afrique (*Centre of Excellence for Health Innovation in Africa*) du Réseau africain pour l'innovation des médicaments et des diagnostics (*l'African Network for Drugs and Diagnostics Innovation, ou ANDI*) et est maintenant appelée Centre d'excellence ANDI pour la recherche nanomédicale (*ANDI Centre of Excellence in Nanomedicine Research*). Les projets de recherche incluant des collaborateurs nationaux et internationaux visent à développer un système de libération du médicament permettant de résoudre les problèmes d'incompatibilité des patients, de la toxicité, de la posologie, de la durée du traitement, des coûts, et de la biodisponibilité des médicaments dans les traitements des trois maladies infectieuses susnommées.

Le NIC Mintek se concentre sur la R&D en rapport avec divers matériaux nanostructurés destinés à des applications pour les diagnostics, la thérapeutique ainsi que pour la gestion et le traitement des eaux. Les recherches du NIC Mintek impliquent le développement de systèmes de libération ciblée de médicaments utilisant les nanotechnologies, de matériaux de nanocomposants pour des applications orthopédiques, de nanomatériaux pour l'industrie du caoutchouc, et de modélisation. Le NIC Mintek a établi des partenariats avec la Commission de recherche sur l'eau (*Water Research Commission*) et le Conseil de recherche médicale (*Medical Research Council*) en créant des plateformes novatrices visant à transformer les nanosciences en nanotechnologies. Parmi les autres collaborateurs du NIC Mintek du secteur privé, figurent Goldfields, 180 degrees, et Real world Diagnostics. Le but principal de ces collaborations consiste à combler le déficit d'innovation existant en orientant la recherche sur les nanotechnologies vers les produits et les processus. Parmi les services rendus par le Mintek, on trouve la recherche sur les nanominéraux et l'évaluation des risques des nanomatériaux et de leurs applications thérapeutiques. Le NIC Mintek a établi des pôles universitaires à Western Cape, Eastern Cape, et Gauteng, qui s'intéressent au besoin de développer les ressources humaines, qui manquent cruellement, et les capacités de recherche dans ce domaine.

**Figure 10.** DST/MINTEK (Afrique du Sud)





L'Université Nelson Mandela Metropolitan University (NMMU) héberge le Centre pour microscope électronique en transmission à haute résolution (*Centre for High Resolution Transmission Electron Microscope*), ensemble de bâtiments nationaux abritant les instruments de pointes nécessaires aux recherches innovantes à l'échelle nano. Ce centre dispose de toute une gamme d'instruments de caractérisation, et il héberge une série de trois nouveaux microscopes électroniques en transmission à haute résolution (METHR) dotés de balayage à haute résolution, de transmission, ainsi que de propriétés d'imagerie et d'analyse. Les partenaires et donateurs ayant contribué au développement du centre incluent : le DST, la Fondation nationale pour la recherche (*National Research Foundation*, ou **NRF**), le Département de l'éducation, (*Department of Education*), SASOL, NMMU, NMMU Trust, et Dr Greg Olsen de GHO Ventures aux États-Unis. Le centre offre à ses partenaires industriels (comme SASOL et NESCA, entre autres) des bâtiments à la pointe de la technologie afin qu'ils y poursuivent leurs recherches sur place, sans avoir à se déplacer dans d'autres pays. Le Centre pour microscope électronique en transmission à haute résolution offre aux chercheurs en Afrique du Sud et à travers tout le continent l'opportunité de poursuivre leurs recherches sur place.

En 2008, le DST a lancé le Programme d'investissement public dans les nanotechnologies (*Nanotechnology Public Engagement Program*, ou **NPEP**). Son objectif vise à promouvoir la compréhension des nanotechnologies à l'aide de faits et de bon sens, à travers des opérations d'information, de débat public et de formation afin que chacun puisse faire des choix éclairés pour ce qui est des nanotechnologies. Il est financé par le Département des sciences et technologies (*Department of Science and Technology*), et mis en œuvre par l'Agence sud-africaine pour les progrès scientifiques et technologiques (*South African Agency for Science and Technology Advancement*, ou **SAASTA**), unité opérationnelle de la NRF. Il vise des groupes tels que les lycéens, la communauté scientifique, l'industrie et le grand public. Sa mission visant à promouvoir les nanotechnologies est menée à bien grâce à : la production de documents de référence (comme des livres, brochures, feuilles de synthèse et des articles spéciaux dans les organes de presse régionaux et nationaux), la participation au placement dans les médias, la diffusion, le suivi et l'évaluation des subventions, la Table ronde des médias (*Media Round Table*), la mise en place de tournées sur les nanotechnologies dans divers établissements nationaux, et la participation à des ateliers, symposiums, conférences et festivals scientifiques nationaux et internationaux.

L'Afrique du Sud a aussi signé un certain nombre d'accords internationaux relatifs aux nanotechnologies (avec la Russie, l'Iran, l'Algérie, le Japon, l'Inde, le Brésil par exemple), et fait partie de plusieurs réseaux internationaux. Un des accords actifs est un projet commun trilatéral rassemblant l'Inde, le Brésil et l'Afrique du Sud (IBSA), ayant pour objectif principal de promouvoir la coopération et le partage des connaissances sur les nanotechnologies dans les domaines de l'agriculture, de l'énergie, de la santé et de l'eau. Les projets en cours concernent le développement de matériaux de pointe pour des capteurs, d'applications sous forme de nanodispositifs, et de cellules solaires hybrides organiques/non organiques nanostructurées. En outre, une école consacrée à la santé et l'eau a été fondée en Afrique du Sud en 2010, et les chercheurs des pays de l'IBSA travaillent à développer un système de libérations des médicaments utilisant les nanotechnologies pour les antirétroviraux.

Suivant la vague mondiale de promotion des nanotechnologies en tant qu'instrument du développement, d'autres pays africains ont entamé une R&D sur les nanotechnologies.

### 3.2 Autres initiatives nationales africaines

Plusieurs pays africains ont développé des centres de recherche dans le domaine des nanosciences et nanotechnologies. Depuis 2006, le Nigeria a mis en place un projet de réhabilitation environnementale mené en commun par l'Université africaine des sciences et technologies (*African University of Science and Technology*) et le Complexe Sheda des sciences et technologies (*Sheda Science and Technology Complex*). Le Nigeria a aussi un projet d'initiative nationale sur les nanotechnologies et est actuellement en train de mettre en oeuvre un projet pilote de l'Institut des Nations Unies pour la formation et la recherche (UNITAR).

Les nanotechnologies pour la réhabilitation de l'environnement sont aussi actuellement soumises à des essais par la Société tunisienne des nanotechnologies pour l'environnement utilisant les nanotechnologies pour surveiller et purifier l'eau de la rivière Medjerda. Le projet est mis en oeuvre en partenariat avec la National Agency of Environmental Protection (Agence nationale pour la protection de l'environnement), l'Aquapôle de l'Université de Liège en Belgique, et la Commission Européenne.

Le développement des nanotechnologies s'est lancé ailleurs sur le continent avec un fort soutien de la part d'un certain nombre d'institutions et organisations internationales, principalement pour promouvoir la R&D en matière de haute technologie, et la construction de sites de production en Afrique. Le Département des affaires économiques et sociales des Nations Unies (UN DESA) par exemple, s'est engagé à fournir un soutien aux constructions liées à la R&D en matière de haute technologie et aux parcs industriels au Ghana et au Sénégal, tandis que l'Égypte et le Kenya ont déjà leurs parcs technologiques et l'Éthiopie est actuellement en train de développer un projet similaire.

Au Maroc, après le lancement en 2006 de l'Initiative nationale pour les nanosciences et nanotechnologies, un parc industriel de haute technologie a été construit à Rabat (Technopolis), abritant principalement des bâtiments appartenant à des compagnies étrangères.

**Figure 11. Technopolis (Maroc)**



En 2011, l'Algérie a incorporé de la micro-nanoélectronique à son Centre de développement des technologies de pointe de la division microélectronique, et un Centre national de recherche sur

les nanomatériaux et les nanotechnologies) a été fondé à l'Université M'Hamed Bougara de Boumerdès en 2011.

L'Union Européenne a inclus dans son 7<sup>e</sup> programme-cadre, un programme de coopération avec l'Afrique. Et depuis 2007, l'INCONTACT (Réseau des points de contact nationaux pour les activités scientifiques coopératives) ainsi que le CAAST-Net (Réseau de coordination et d'innovation dans les sciences et technologies en Afrique subsaharienne et UE) a choisi de se concentrer en particulier sur les nanotechnologies. Le Fonds de développement européen promeut aussi la coopération entre les instituts d'enseignement supérieur en Afrique, dans les Caraïbes et dans les régions du Pacifique. D'autres organisations internationales encouragent les nanotechnologies en Afrique, y compris la Banque mondiale, l'UNESCO (Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture), le TWAS (*Third World Academy of Sciences*, Académie des sciences du tiers monde) et le Comité sur la coopération scientifique et technologique de l'organisation de la Conférence Islamique (*Committee on Scientific and Technological Cooperation of the Organization of the Islamic Conference*, ou **COMSTECH**).

D'autres pays ont développé des accords avec des compagnies afin d'établir des centres ou des projets de recherche sur les nanotechnologies. C'est le cas de l'Égypte où le Centre de recherche sur les nanotechnologies (*Nanotechnology Research Centre*) a été fondé par l'Agence pour le développement de l'industrie et des technologies de l'information (*Information Technology Industry Development Agency*) et le Fonds pour le développement scientifique et technologique (*Science and Technological Development Fund*) en partenariat avec IBM, et inauguré en 2009. Ce partenariat a choisi la R&D sur les microsystèmes électromécaniques/nanosystèmes électromécaniques (Mems/Nems) comme l'un de ses principaux champs de recherche.

Plusieurs universités américaines et européennes, en partenariat avec des fondations et des compagnies telles que Gates et Siemens, sondent les possibilités de développer des dispositifs permettant d'améliorer la fourniture de soins et la purification de l'eau, en particulier dans les zones rurales. Ces projets se multiplient dans les pays africains comme le Nigeria, le Kenya, le Cameroun et le Ghana.

En outre, plusieurs pays africains pensent lancer des initiatives sur les nanotechnologies dans la deuxième décennie du XXI<sup>e</sup> siècle. En janvier 2011, par exemple, la National Nanotechnology Strategy (Stratégie nationale pour les nanotechnologies) a été adoptée par le Ministère des sciences et technologies du Zimbabwe, en partenariat avec l'Académie des sciences du Zimbabwe et le Conseil de recherche du Zimbabwe, afin de guider l'industrie locale à profiter de cette technologie émergente. Au moment de la rédaction de ce document, la stratégie est encore en cours d'étude par le Comité ministériel de recherche scientifique, et à la lumière de l'économie incertaine du pays, cela pourrait prendre quelque temps avant d'être mis en place. Toutefois, le Ministère du développement des sciences et technologies encourage le développement des nanotechnologies au Zimbabwe, et prévoit de développer des politiques mettant les nanotechnologies au cœur de l'agenda scientifique national.

### 3.3. L'importance des réseaux africains

Certains réseaux africains ont aussi eu une certaine incidence dans le développement de la R&D sur les nanotechnologies en Afrique. Le FONAI (*Focus Nanotechnology Africa Inc.*) par exemple, est une organisation à but non lucratif visant à dispenser une formation et des activités scientifiques non seulement en Afrique, mais aussi aux États-Unis et dans les Caraïbes. Ces projets sont soutenus financièrement par les États-Unis, l'Union Africaine, l'Union Européenne, les pays des Caraïbes et du Pacifique, les compagnies et les institutions internationales, tels que la Banque mondiale. Ils ont été lancés en 2006 avec un budget de 10 milliards de dollars pour un horizon à 10 ans. Il est toujours difficile d'identifier si ce réseau reflétera les intérêts africains, et dans quelle mesure il le fera. Le réseau africain des nanosciences (*Nanosciences African Network*, ou *NanoAfNet*.) a aussi été lancé en 2006. Il s'agit d'une initiative du continent sponsorisée par plusieurs pays d'Afrique et d'ailleurs. Leur siège est situé dans le Groupe de recherche matérielle (*Materials Research Group*) des iThemba Labs en Afrique du Sud.

En 2010, l'ANSOLE (Réseau africain pour l'énergie solaire ou *African Network for SOLar Energy*.) a été lancé avec un objectif triple :

- Favoriser les activités de recherche dans le domaine de l'énergie solaire auprès des scientifiques africains travaillant en Afrique, mais aussi ailleurs.
- Encourager l'utilisation de l'énergie solaire en Afrique pour stimuler la croissance économique, le développement et la protection de l'environnement.
- Promouvoir les formations et l'enseignement de l'énergie solaire à travers des programmes de développement des compétences.

Pour atteindre ses objectifs, l'ANSOLE a adopté plusieurs initiatives comprenant : l'encouragement des projets de recherche commune, l'organisation de réunions en Afrique, la promotion de l'échange entre les scientifiques et les étudiants parmi différents laboratoires du réseau, la création d'une base de données recensant les acteurs économiques et scientifiques de l'énergie solaire en Afrique, et l'établissement de centres de recherche régionaux sur les énergies renouvelables dans différentes régions africaines.

Le Réseau inter-islamique des nanotechnologies (connu sous le nom *d'Inter-Islamic Network of Nanotechnology*, ou *NTNOIC*.) a été créé en 2011 par le COMSTECH. Plusieurs pays africains sont membres de ce réseau qui vise à relier chacun des pays du réseau pour mener des recherches dans diverses branches des nanotechnologies. Le Centre de recherche sur les matériaux et l'énergie (*Materials and Energy Research Center*) à Téhéran, en Iran, a été désigné comme point central du NTNOIC. La mission et la vision du NTNOIC sont d'encourager une coopération plus étroite entre les pays musulmans dans le domaine du développement et de la gestion des ressources nanotechnologiques. Afin d'effectuer cette mission, l'organisation cherche à générer des idées et des directions politiques à travers un dialogue intensif, des études et une recherche continue. Ses objectifs clés sont les suivants :

- Promouvoir la coopération et encourager les activités dans le domaine des nanotechnologies.
- Soutenir le transfert, le développement et la gestion des nanotechnologies.
- Poser les bases de projets coopératifs dans les centres de recherche, scientifiques ou industriels, ainsi que parmi les chercheurs.
- Préserver les ressources tangibles et intangibles.

- Former des ressources humaines compétentes dans ce domaine.

Toutes ces activités devraient être menées entre les États membres.

### **3.4. Conclusion**

L'Afrique se trouve aux balbutiements de la phase de développement des nanotechnologies. Elle a suivi les recommandations des organisations internationales qui soutiennent que la haute technologie permet d'être compétitif à l'international. La recherche et le développement des nanotechnologies menés dans plusieurs pays africains ont fourni leurs premiers résultats qui ont démontré le potentiel de ces technologies pour régler certains des objectifs du Millénaire pour le développement (comme pour ce qui est de l'eau, de la santé et de l'énergie). Pourtant, les pays africains devraient aussi répondre à un certain nombre de questions alors que le continent prévoit de tirer avantage des nanotechnologies :

- Qui bénéficiera de ces technologies dans un contexte politique où la compétitivité externe est la force principale ?
- Comment l'évaluation des risques peut-elle se développer avant de subir les pressions du marché et avant que les nanoproducts soient vastement diffusés sur les marchés africains ?
- Quelles seront les conséquences de la formation de personnel hautement qualifié dans une région où la fuite des cerveaux est épidémique et où l'éducation générale a sérieusement été compromise au fil des dernières décennies en raison des politiques économiques imposées par la Banque Mondiale et le Fonds Monétaire International ?
- Comment les disparités avec les pays développés, perpétuées par les anciens progrès technologiques, vont-elles pouvoir être évitées dans le contexte d'un avènement des nanotechnologies ?

L'approche sud-africaine des nanotechnologies montre comment la politique du pays est influencée, ne serait-ce que timidement, par ses intérêts nationaux (comme l'évaluation des risques, la focalisation sur l'aspect social). L'approche sud-africaine pourrait bien creuser encore ce sillon naissant pour s'ériger contre les forces du marché mondial, et être d'une importance significative pour les autres pays subsahariens pour ce qui est de faire entendre les voix des pays sous-développés et en transition afin de façonner la gouvernance globale des nanotechnologies et l'orienter vers la promotion de l'égalité et de l'équité. Le tableau 2 vous offre un aperçu des initiatives en cours sur les nanotechnologies en Afrique.

**Table 2. Les nanotechnologies en Afrique, initiatives gouvernementales et réseaux internationaux (liste non exhaustive fournie à titre d'exemple)**

Date	Pays	Date / Initiatives nationales
2002	Afrique du Sud	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2002 SANI (<i>South Africa Nanotechnology Initiative</i>, Initiative sud-africaine pour les nanotechnologies)</li> <li>2006 <i>National Nanotechnology Strategy</i> (stratégie nationale pour les nanotechnologies) <i>Department of Science and Technology</i> (département des sciences et technologies)</li> <li>• 2007. <i>Nanotechnology Environment Research Group</i> (Groupe de recherche sur les impacts environnementaux des nanotechnologies) : CSIR (<i>Council for Scientific and Industrial Research</i>, Conseil pour la recherche scientifique et industrielle)</li> <li>• 2009. <i>Nanotoxicology and risk assessment Unit</i> (Unité de nanotoxicologie et évaluation des risques). <i>National Institute for Occupational Health</i> (Institut national pour la santé au travail)</li> <li>• 2009. <i>NanoSchool</i> (NanoÉcole)</li> <li>• 2009. Accord trilatéral IBSA (Inde, Brésil et Afrique du Sud), ayant pour objectif de promouvoir la R&amp;D dans les nanotechnologies.</li> <li>• 2011. <i>Centre for High Resolution Transmission Electron Microscope</i> (Centre pour microscope électronique en transmission à haute résolution). <i>Université Nelson Mandela Metropolitan University</i></li> <li>• 2011. La plateforme nanomédicale du DST/CSIR a été sélectionnée comme <i>ANDI Centre of Excellence for health innovation in Africa</i> (Centre d'excellence ANDI pour l'innovation médicale en Afrique)</li> <li>• 2012. <i>Nanotechnology and Nanoscience Interdisciplinary Masters Degree</i> (Master interdisciplinaire en nanotechnologies et nanosciences). Université de Western Cape en consortium avec trois autres universités sud-africaines.</li> </ul>
2006	Maroc	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2006. Initiative Nationale pour les Nanosciences et Nanotechnologies</li> <li>• 2010. Technopolis. Parc industriel de haute technologie à Rabat - Principalement des compagnies étrangères</li> </ul>
2007	Nigeria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2007. Projets de réhabilitation de l'environnement de <i>l'African University of Science and Technology</i> (AUST, Université africaine des sciences et technologies) et du <i>Sheda Science and Technology</i></li> </ul>

- Complex* (Complexe Sheda des sciences et technologies, Federal Ministry of S&T, Ministère fédéral des sciences et technologies).
- 2007. Projet de *Nigerian Nanotechnology Initiative* *Nanotech program* (Programme nigérian d'initiative pour les nanotechnologies) au sein de la *National Agency for Science & Engineering Infrastructure* (Infrastructure de l'agence nationale pour la science et l'ingénierie).
  - 2007. Universités étrangères explorant les nanodispositifs, la nanomédecine.
  - 2011. *Nigerian American Nanomedicine Org.* (NANO, Organisation de nanomédecine nigériane américaine.). Partenariat entre la *National Universities Commission of Nigeria* (Commission nationale des Universités du Nigeria) et l'Université d'État de New York (SUNY-Buffalo) pour des applications médicales.
- 2007                      Égypte
- 2007. *Egypt Nanotechnology Centres* (EGNC, Centres de recherche sur les nanotechnologies en Égypte). *Information Technology Industry Development Agency* (ITIDA, Agence pour le développement de l'industrie et des technologies de l'information) et le *Science and Technological Development Fund* (STDF, fonds pour le développement scientifique et technologique) & IBM. Les partenaires sont la *Cairo University* (Université du Caire), la *Nile University* (Université du Nil, privée), la *Mansoura University* (Université de Mansourah), et l'*Egypt-Japan University of Science & Technology* (Université Égypte-Japon des sciences et de la technologie).
  - 2009. *NanoTech Egypt for Photo-Electronics* (NanoTech Égypte pour la photo-électronique) Fabrication de nanomatériaux
- 2009                      Tunisia
- 2009. *Tunisian Society of Nanotechnology for Environment* (NanoEcoTec, Société tunisienne des nanotechnologies pour l'environnement)
  - 2009. Projet pour surveiller et purifier les eaux de la rivière Medjerda. Partenariat : *National Agency of Environmental Protection* (Agence nationale pour la protection de l'environnement), Aquapôle de l'Université de Liège en Belgique, Commission Européenne.
- 2009                      • Kenya
- 2009. *National Committee on Nanotechnology* (Comité national sur les nanotechnologies), *National Council*

		<p><i>of Science and Technology</i> (Conseil national des sciences et technologies)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2009 Programme de <i>l'Institute of Primate Research Human African Trypanosomiasis</i> (Institut de recherche sur les primates, trypanosomiase africaine) correspondant à une action collaborative entre le <i>Flanders Institute of Biotechnology</i> (VIB, Institut de biotechnologie des Flandres Belgique), <i>l'Instituto de Parasitologia Biomedicina</i> (IPB-CSIC, Institut de parasitologie et de biomédecine, Espagne), Université Eduardo Mondlane (UEM, Mozambique) et la <i>Foundation for Innovative New Diagnostics</i> (FIND, Fondation pour de nouveaux diagnostics novateurs, Suisse), qui ont pour but de se consacrer à la recherche de nouvelles techniques de diagnostic et de chimiothérapie de la trypanosomiase africaine à l'aide de la technologie des nanocorps.</li> <li>• 2010. Certains groupes de recherche de l'Université de Nairobi et JKUAT (<i>Univ. of Agric &amp; Tech</i>, Université d'enseignement technologique et agricole)</li> <li>• 2010. compagnies transnationales et universités étrangères testant dispositifs et technologies (<i>Siemens Found</i>, 2010 Système de traitement mobile des eaux (<i>Siemens Found &amp; SkyJuice &amp; PureFlow &amp; Global Nature Fund</i>))</li> </ul>
2009	Ghana	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2009. Parcs technologiques bénéficiant du soutien du Département des affaires économiques et sociales des Nations Unies 2009. Entreprises ayant obtenu des fonds du Forum économique mondial pour les tests de nanodispositifs.</li> <li>• 2010. Universités étrangères testant des dispositifs dans des zones rurales</li> </ul>
2010	Soudan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2010 <i>Sudanese Nanotechnology Network</i> (Réseau soudanais des nanotechnologies)</li> </ul>
2010	Éthiopie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2010. <i>African School on Nanoscience for Solar Energy</i> (École africaine des nanosciences pour l'énergie solaire)</li> </ul>
2011	Algérie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2007. <i>Advanced Technologies Development Centre</i> (Centre de développement des technologies de pointe). <i>Division of Microelectronics and nanotechnologies</i> (Division de microélectronique et nanotechnologies) 2011 <i>National Centre for Research on Nanomaterials and Nanotechnology</i> (Centre national de recherche sur les nanomatériaux et les nanotechnologies), Université M'Hamed Bougara de Boumerdès</li> </ul>
2012	Zimbabwe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2012. Le développement de la <i>National</i></li> </ul>



*Nanotechnology Strategy* (Stratégie nationale pour les nanotechnologies) sera suivi de la déclaration de 2012 année des nanotechnologies par le *Ministry of Science and Technology Development* (Ministère du développement des sciences et technologies).

		<b>Initiatives africaines internationales</b>
2006	FONAI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2006. <i>Focus Nanotechnology Africa Inc.</i> FONAI. Organisation à but non lucratif visant à dispenser une formation et des activités scientifiques en Afrique, aux États-Unis et dans les Caraïbes. Fonds provenant des États-Unis, de l'Union Africaine, de l'Union Européenne, des pays des Caraïbes et du Pacifique. G8, Communauté caribéenne ; plusieurs fondations : Gates, Rockefeller, Ford, Hewlett, MacArthur, Mellon, Carnegie, etc. Ainsi que la Banque Mondiale, l'OTAN, la France, la Russie, l'Allemagne, le Japon, l'Italie, le Canada, l'Union africaine. 10 milliards de dollars en 10 ans. Organisation de l'USEACANI (<i>US-EU-Africa-Asia-Pacific and Caribbean Nanotechnology Initiative</i>, Initiative pour les nanotechnologies aux États-Unis, en Union Européenne, en Afrique, en Asie, dans le Pacifique et les Caraïbes)</li> </ul>
2006	NanoAfNet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Nanosciences African Network</i> (Réseau africain des nanosciences). Initiative du continent sponsorisée par plusieurs pays d'Afrique et d'ailleurs. Leur siège est situé dans le <i>Materials Research Group</i> (Groupe de recherche matérielle) des iThemba LABS en Afrique du Sud. Il compte 318 membres et représentants de ces divers pays : Algérie, Maroc, Tunisie, Égypte, Sénégal, Guinée, Guinée-Bissau, Côte d'Ivoire, Burkina Fasso, Congo, Ghana, Nigeria, Afrique centrale, Cameroun, Bénin, République démocratique du Congo, Soudan, Éthiopie, Ouganda, Kenya, Rwanda, Tanzanie, Mozambique, Malawi, Zambie, Namibie, Botswana, Lesotho, Swaziland, et Afrique du Sud.</li> </ul>
2010	ANSOLE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2010. <i>African Network for Solar Energy</i> (Réseau africain pour l'énergie solaire)</li> </ul>
2012	Inter-Islamic Network of NT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2012 <i>Committee on Scientific and Technological Cooperation</i> (COMSTECH, Organisation de la Conférence Islamique sur la coopération scientifique et technologique, 1981). Plus d'une dizaine de pays africains sont membres.</li> </ul>

## 4. Risques des nanotechnologies pour la santé et l'environnement

La gestion de produits chimiques traditionnels définit le risque que présente une substance en fonction de a) les caractéristiques de toxicité d'une substance spécifique, et b) l'exposition à cette substance (ainsi, le risque = toxicité intrinsèque x l'exposition ou  $R = T \times E$ ).

Lorsque des informations viennent à manquer sur l'un de ces deux éléments (propriétés dangereuses d'une substance ou niveau d'exposition des hommes ou de l'environnement), cela crée une incertitude quant au risque que la substance présente, tel que défini dans la gestion de produits chimiques traditionnelle. Quand des informations scientifiques rassemblées indiquent des propriétés dangereuses, mais qu'elles sont insuffisantes pour pleinement caractériser le risque, c'est souvent ce qu'on appelle des risques potentiels. Cette partie va se concentrer sur les caractéristiques dangereuses des nanomatériaux, tandis que le chapitre suivant se focalisera sur les voies d'exposition.

Des preuves historiques supportées par des avancées scientifiques récentes indiquent que toute nouvelle technologie est accompagnée de risques pour la santé et l'environnement, et les nanotechnologies n'y font pas exception. La quantité croissante de nanomatériaux et nanoproduits manufacturés entraîne un accroissement des risques potentiels auxquels les hommes et l'environnement sont exposés. Ainsi, les nanomatériaux manufacturés sont d'une échelle de taille similaire à celle des particules des gaz d'échappement des moteurs à combustion responsable de cancer, et certains nanotubes de carbone sont, par de nombreux aspects, similaires aux fibres d'amiante, source de fibrose pulmonaire. Pendant ces 15 dernières années, plusieurs acteurs, tels que les organisations non gouvernementales, les activistes écologistes, les consommateurs, les syndicats et d'autres acteurs sociaux ont soulevé des questions sur les risques que présentent les nanotechnologies et les nanomatériaux manufacturés.

Malheureusement, la réponse à ces questions a toujours été que ces risques étaient largement inconnus, que cette technologie était trop jeune pour qu'on en évalue les risques, et encore moins pour que des mesures de gestion des risques soient mises en place. Parfois même, il était déclaré que les nanotechnologies et les nanomatériaux manufacturés ne présentaient aucun risque pour la santé et l'environnement. Les incertitudes quant aux risques liés aux nanotechnologies n'ont pas empêché la mise sur le marché de nano-produits. Au contraire, la plupart des politiques sur les nanotechnologies mises en place ces 10 dernières années étaient largement orientées vers une

accélération de la mise sur le marché des nano-produits, avec une considération très limitée du principe de précaution à appliquer pour traiter les risques potentiels de cette technologie émergente.

**Figure 14. Symbole de nanorisque**

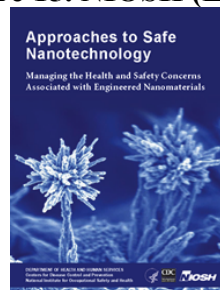


Vainqueurs du concours pour la création du symbole de nanorisque, lancé par le groupe ETC lors du Forum social mondial de Nairobi, 2007

En conséquence de l'accumulation de preuves scientifiques et de l'activisme soutenu, un certain nombre de pays a adopté des cadres stratégiques nationaux dans un effort (pour la plupart vain) d'équilibrer la gestion de ces risques incertains sans pour autant compromettre l'innovation et les bénéfices potentiels. Ces pays comptent par exemple les États-Unis, l'Allemagne, les Pays-Bas, et l'Australie, pour n'en citer que quelques-uns. Un nombre croissant de projets de recherche se monte dans ce cadre visant à caractériser et atténuer les risques. En Afrique, l'Afrique du Sud est actuellement en train de développer une stratégie nationale pour traiter la question des risques potentiels des nanotechnologies, pour la mettre en œuvre selon le même modèle que celui de la National Nanotechnology Strategy (Stratégie nationale pour les nanotechnologies) de 2005. Il est toutefois important de noter que malgré la multiplication de telles initiatives pour un développement responsable des nanotechnologies, seuls 5 % des fonds consacrés à la nanorecherche sont employés à l'identification, la caractérisation et l'atténuation des risques, alors que 95 % des fonds sont consacrés au développement et au marketing de nouveaux matériaux et produits. Cette situation est regrettable et va à l'encontre d'un développement sûr, responsable et durable de la technologie, qui, à son tour, conditionne son adoption globale par les utilisateurs et consommateurs finaux. Au vu de cette situation, il est devenu prioritaire de traiter la question des risques prouvés et potentiels.

Plus de dix ans après le début de ces initiatives, et au vu des preuves scientifiques produites, on ne peut plus prétendre qu'il n'y a pas de risque ou qu'un excès d'incertitude empêche de traiter la question sérieusement.

**Figure 15. NIOSH (États-Unis)**



Un nombre grandissant de bases de données rassemblant des articles scientifiques et d'autres formes de données sur les risques sur la santé et l'environnement des divers nanomatériaux manufacturés communément utilisés dans les nanoproducts et les applications industrielles sont mises à disposition. Ces initiatives visent à : rassembler des données sur les risques des nanomatériaux manufacturés à partir de divers rapports scientifiques ; et établir la façon dont les données accessibles peuvent s'appliquer pour comprendre les risques liés aux nanotechnologies. À cette fin, plusieurs bases de données sur différents types de nanomatériaux manufacturés ont été développées par diverses organisations dans le monde entier. Quelques exemples sont ici présentés pour illustrer ce point (voir Tableau 3).

L'International Council on Nanotechnology (ICON, Conseil international sur les nanotechnologies), institution de l'Université de Rice, à Houston, aux États-Unis, mène des recherches sur les risques des nanomatériaux manufacturés et tient une base de données sur les effets de ces matériaux sur la santé, la sécurité et l'environnement. De 2000 à 2010, cette base de données a connu une croissance dans la quantité d'articles publiés dans les revues scientifiques et consacrés à la compréhension des risques potentiels des nanomatériaux manufacturés sur la santé et l'environnement. En 2010, on recensait 563 articles scientifiques publiés et examinés par des pairs dans la base de données de l'EHS ICON.

Une autre base de données a été développée par le Nanotechnology Citizen Engagement Organization (NanoCeo, Organisation de l'engagement citoyen sur les nanotechnologies). La base de données de la NanoCeo classe les risques signalés par les articles scientifiques selon les types de nanomatériaux manufacturés. Selon la base de données de la NanoCeo, entre 2000 et 2010, 176 articles ont évoqué les risques des nanotubes de carbone, 190 ceux des nanoparticules d'argent, et 70 ceux du dioxyde de titane entre autres nanomatériaux manufacturés. Cette accumulation de connaissances scientifiques ne permet plus de se dispenser de soupçons fondés sur plusieurs nanomatériaux manufacturés et leurs divers effets nocifs sur la santé et l'environnement. Bien que la situation globale soit des plus complexes en raison de la grande diversité des nanomatériaux manufacturés et de leurs formes distinctes, la section suivante présente quelques exemples visant à illustrer les risques potentiels des nanomatériaux manufacturés.

Entre autres choses, les avantages potentiels des nanotubes de carbone sont souvent présentés de façon hyperbolique dans les rapports des médias et des scientifiques, tels que les écrits présentant la possibilité d'accrocher des nanotubes de carbone ou des fullerènes aux cellules cancéreuses afin de les supprimer sans effet secondaire, transformant ainsi le cancer en une maladie curable. Toutefois, les considérations sur leurs risques potentiels sont souvent passées sous silence. En 2008, le Dr Poland et d'autres collaborateurs ont rapporté que dans la cavité abdominale des souris, les nanotubes de carbone avaient des effets similaires à ceux des fibres d'amiante, et étaient

par conséquent cancérigènes.

De la même façon, en 2008, le Dr Takagi et d'autres collaborateurs ont démontré que les nanotubes de carbone produisaient un mésothéliome chez la souris. Même les nanotubes de carbone à simple paroi, qui sont bien plus parfaits, homogènes et d'une pureté supérieure à celle des nanotubes de carbone à parois multiples ont montré qu'ils avaient des effets nocifs sur la souris. Le Dr Chou et ses confrères ont prouvé que les nanotubes de carbone à simple paroi produisaient des granulomes dans les poumons des souris. Même les protozoaires ingérant des nanotubes de carbone ont révélé un taux de mortalité plus élevé, sont devenus paralysés, ou n'ont plus bénéficié que d'une mobilité réduite selon les découvertes publiées par le Dr Ghanfari et ses collaborateurs. D'autres études ont aussi démontré que plus la taille des nanotubes de carbone, de carbone noir et d'autres matériaux diminuent, plus les réactions allergiques augmentent.

Les producteurs de ces matériaux et certains scientifiques affirment que les nanotubes sont fermement (fixés) implantés dans les matrices du produit et ne sont pas, par conséquent, sources possibles d'exposition directe, contrairement aux particules isolées testées dans des études toxicologiques, et ont donc moins de chances d'interagir avec l'homme ou l'environnement durant la phase d'utilisation des produits. Ils concluent que ces matériaux ne présentent aucun risque pour les consommateurs. Ceci, toutefois, n'est correct que dans une certaine mesure. Les nanotubes de carbone (et autres nanomatériaux manufacturés) sont utilisés dans de nombreux domaines, des cosmétiques aux automobiles, en passant par les batteries cellulaires et les équipements sportifs. Chacun de ces produits a un cycle de vie différent, ce qui peut mener à une exposition. La production de nanotubes de carbone dans un cadre industriel et leur incorporation dans des produits par exemple, présentent un risque non négligeable que les salariés inhalent ces particules, avant qu'elles soient intégrées à une matrice.

De la même façon, l'incinération des textiles, des batteries et d'autres produits des nanotechnologies peuvent séparer les nanotubes de carbone de leurs matrices de produit, et vu qu'ils ne se brisent pas à des températures inférieures à 850°C, ils peuvent survivre à la combustion et être alors inhalés ou introduits dans la chaîne alimentaire. En outre, les nanomatériaux manufacturés peuvent aussi s'user dans des produits tels que les vêtements où la matière dans laquelle ils sont intégrés peut s'user, et cela peut mener à un contact direct avec la peau, et donc la pénétration dans l'organisme. Ces possibilités ont été considérées, analysées et signalées par le Dr Kohler et ses collaborateurs en 2008.

**Figure 16. Classification des expositions potentielles aux nanomatériaux manufacturés**



Source : Wischers et Musee, 2010

En 2009, le Dr Takeda et ses collaborateurs ont démontré que le dioxyde de titane pouvait causer des dégâts héréditaires. Ils ont aussi clairement démontré qu'il était possible que les nanoparticules traversent la barrière placentaire et provoquent une réduction de la production de sperme chez les embryons mâles. En outre, en termes de conséquences génétiques, le Dr Yang et ses collaborateurs ont déclaré, en 2009, que les nanoparticules d'argent pouvaient interagir avec le matériel génétique, le modifiant et affectant sa réplication.

Au vu des inquiétudes croissantes sur la pénétration potentielle des nanomatériaux manufacturés des produits cosmétiques à la peau de l'homme, en 2010, les Drs Wischers et Musee ont examiné les données scientifiques disponibles sur ce sujet. Ils ont découvert que les nanomatériaux manufacturés pénétraient effectivement la partie supérieure d'une peau en bonne santé, là où on pouvait les discerner, mais qu'ils ne pénétraient pas plus loin dans les couches plus profondes de l'épiderme. Dans le même temps, l'ouverture présente autour des follicules des poils, où se situe le sébum, sert souvent de réservoir et les nanomatériaux manufacturés s'y accumulent jusqu'à ce qu'ils soient retirés avec l'excès de sébum.

En 2009, le Dr Sharma et ses collaborateurs ont signalé que les nanoparticules d'oxyde de zinc, communément utilisées pour les filtres solaires dans le domaine des cosmétiques, causaient des dégâts à l'ADN des cellules épidermiques qui ont fait l'objet de tests avec une concentration plus faible que ce qui est généralement utilisé dans les cosmétiques. Cela a aussi généré un stress oxydatif déclenchant la production de radicaux libres responsables du cancer de la peau. En outre, dans une autre étude, le Dr Deng et ses collaborateurs ont affirmé que les nanoparticules d'oxyde de zinc avaient le potentiel de causer des dommages et de tuer des cellules souches cérébrales chez des souris de laboratoire. Il est connu que les nanoparticules peuvent traverser les zones de déplétion, voyageant à travers le système sanguin et lymphatique, et même entrer dans le cerveau en passant

par les nerfs olfactifs, traversant la barrière hémato-encéphalique, comme cela a été démontré par le Dr Oberdorster et ses collègues en 2005.

Ces quelques exemples (sélectionnés et présentés à partir d'un ensemble de preuves bien plus vaste), et un ensemble grandissant de preuves scientifiques semblent indiquer une probabilité d'effets nocifs sur l'homme provenant d'un certain nombre de nanoparticules manufacturées. Dans un tel contexte, ces risques méritent qu'on s'y intéresse plus avant afin de soutenir une exploitation responsable des nanotechnologies sur le long terme sans entraîner d'effets nocifs sur la société.

**Figure 17. NutraLease TM**



Source : [www.pithomas.com/PLTbrando/NutraLease2.htm](http://www.pithomas.com/PLTbrando/NutraLease2.htm), dernière visite en janvier 2007

La toxicité des nanoparticules ne se limite pas à la santé de l'homme, mais affecte également d'autres formes d'organismes dans l'environnement. Un ensemble de preuves montre que l'accumulation croissante de nanoparticules dans les écosystèmes ayant le potentiel de les transférer à des organismes plus hauts sur la chaîne alimentaire pourrait causer une exposition de l'homme à travers les aliments tels que le poisson et les légumes, entre autres. Par exemple, de nombreux rapports scientifiques ont illustré les effets nocifs possibles des nanomatériaux manufacturés sur les organismes se trouvant dans la nature comme : les poissons, les bactéries, les vers de terre et les escargots, entre autres.

En 2007, par exemple, le Dr Roberts et ses confrères ont signalé que les puces aquatiques (*Daphnia magna*) consommant des nanotubes de carbone englobés dans un lipide avaient obstrué leurs tubes digestifs, et une mortalité a pu être constatée. En 2008, le Dr Leroueil et ses collaborateurs ont démontré que diverses nanoparticules organiques et non organiques produisaient des déséquilibres parmi la faune et la flore. Par exemple, le dioxyde de titane, un ingrédient clé de l'industrie cosmétique a été signalé comme ayant endommagé des algues et a aussi entraîné chez des poissons une désorientation totale, selon un rapport de recherche du Dr Federici et ses collaborateurs paru en 2007.

Au sein de la communauté scientifique, certains ont avancé l'argument selon lequel la toxicité démontrée *in vitro* ne surviendrait pas une fois que les mêmes nanomatériaux manufacturés ont été incorporés aux produits finaux. Une nouvelle fois, cette forme de généralisation est problématique à la lumière de la diversité des formes et des façons dont ces matériaux sont incorporés dans des matériaux nombreux et variés. Il est par conséquent important de distinguer les nanomatériaux manufacturés qui sont suspendus dans des liquides ou des solides, et ceux qui sont fermement intégrés à une matrice solide.

Suivant ce protocole de classification, l'Institut national des États-Unis pour la santé au travail des États-Unis (NIOSH pour national Institute for Occupational Safety and Health NIOSH,) a reconnu que les nanomatériaux manufacturés présentant le plus de risques se trouvaient dans des poudres à l'état solide, dispersés ou condensés dans des poudres, comme c'est le cas dans les cosmétiques, par exemple. Le deuxième niveau de risques est présent dans les nanoparticules manufacturées qui sont suspendues dans des liquides, comme des nanotubes dans de l'eau. Le troisième niveau de risque provient des nanoparticules intégrées à des réseaux et des matrices, comme les couches minces. Enfin, ceux qui présentent le moins de risques sont ceux qui sont incorporés dans des nanostructures, comme dans des alliages de métal. Toutefois, cette analyse ne tient pas entièrement compte de la possibilité de transformation et de libération des particules à différents stades de leur cycle de vie.

Le degré de risque est aussi lié aux différentes façons possibles par lesquelles les nanoparticules interagissent et entrent dans les organismes ou les organes. En général, les hommes sont exposés aux nanomatériaux manufacturés par l'ingestion, l'inhalation ou la pénétration par la peau. Les nanoparticules manufacturées peuvent être injectées ou se dissoudre, comme c'est par exemple le cas des implants et des produits médicaux. Il est aussi important de considérer la possibilité d'accident, comme des incendies ou des explosions, qui peuvent aussi exposer des individus non protégés aux risques des nanomatériaux manufacturés, ce qui à ce jour reste à étudier en grande profondeur avant d'envisager toute forme de généralisation sur ce qui peut provoquer le risque ou pas.

Enfin, même si les risques liés aux nanotechnologies sont actuellement explorés relativement tôt dans leur développement, si on compare cela à d'autres technologies, la commercialisation des produits et par conséquent l'exposition des hommes et de l'environnement se poursuit sans avoir suffisamment fait l'objet d'étude de risques potentiels.

**Table 3. Exemples d'institutions tenant des bases de données utiles au soutien de l'évaluation des risques des nanomatériaux manufacturés**

Institution	Institution hôte	Activité	Lien vers le site web
Center for the Environmental Implications of NanoTechnology (CEINT, Centre pour les implications environnementales des nanotechnologies)	<i>Université de Duke</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dirige et mène des recherches collaboratives sur les comportements des matériaux à échelle nanométrique dans des systèmes complexes, y compris leur devenir, leur transport, leur exposition et leur toxicité. Le centre est impliqué dans le développement d'inventaires de propriétés clés des nanomatériaux manufacturés influençant leur devenir et leur transport, ainsi que le développement de modèles prévisionnels de toxicité.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><a href="http://www.ceint.duke.edu/">http://www.ceint.duke.edu/</a></li> </ul>
PEN of Charities (PEN caritatif)	<i>Woodrow Wilson International Centre for Scholars</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le Project on Emerging Nanotechnologies (Projet sur les nanotechnologies émergentes) – fait l'inventaire des nanotechnologies selon la tendance globale du type et de la quantité de nanomatériaux manufacturés. La plupart des</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><a href="http://www.nanotechproject.org/">http://www.nanotechproject.org/</a></li> </ul>



<p>Nanomaterial Stewardship Program (NMSP, Programme de gestion des nanomatériaux)</p>	<p><i>United States Environment Protection Agency (US EPA, Agence de protection de l'environnement aux États-Unis)</i></p>	<p>informations sont fournies volontairement par les industries internationales.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Silver Nanotechnology Commercial Inventory (Inventaire commercial des nanotechnologies de l'argent) - base de données sur les nanotechnologies de l'argent dans les produits commercialisés.</li> <li>• Test volontaire et inventaire du développement des substances manufacturées à l'échelle nanométrique, importées, traitées ou utilisées, en collaboration avec des entreprises volontaires.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="http://www.epa.gov/oppt/nano/stewardship.htm">http://www.epa.gov/oppt/nano/stewardship.htm</a></li> </ul>
<p>International Council on Nanotechnology (ICON, Conseil international sur les nanotechnologies)</p>	<p><i>Organisation à but non lucratif affilié à la United States National Science Foundation (Fondation nationale pour les sciences des États-Unis), Center for Biological and Environmental Nanotechnology (CBEN, Centre pour les nanotechnologies biologiques et environnementales), Université de Rice</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Développe et communique des informations sur les risques potentiels sur l'environnement et la santé des nanosciences et nanotechnologies afin d'encourager une réduction des risques et de maximiser les bénéfices socio-économiques.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="http://www.icon.rice.edu/">http://www.icon.rice.edu/</a></li> </ul>
<p>Center for Environmental Implications of Nanotechnology (UC-CEIN, Centre sur les implications environnementales des nanotechnologies)</p>	<p><i>Université de Californie</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dirige et mène des études collaboratives sur les impacts des nanomatériaux manufacturés sur l'environnement, la santé et la sécurité, et génère des données pour développer des modèles de classement des risques selon leur devenir, leur transport et leur toxicité. Un inventaire des données générées est accessible grâce aux articles de journaux et fournit des informations aux chercheurs et savants quant à la toxicologie des nanomatériaux manufacturés.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="http://www.cein.ucla.edu/">http://www.cein.ucla.edu/</a></li> </ul>

Les données disponibles montrent la diversité des profils de risques des nanomatériaux manufacturés par rapport à l'homme et l'environnement (ainsi, alors que certains nanomatériaux manufacturés présentent des risques élevés, d'autres n'ont qu'une faible toxicité ou aucun risque spécifique), mais dans l'ensemble, elles indiquent qu'il est indispensable de mettre en œuvre le principe de précaution vis-à-vis du développement de cette technologie, comme fondement de mesures réglementaires.

Le principe de précaution a tout d'abord été formalisé dans le principe 15 de la Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement du Sommet de la Terre de 1992 qui disait : « Pour protéger l'environnement, des mesures de précaution doivent être largement appliquées par les États selon leurs capacités. En cas de risque de dommages graves ou irréversibles, l'absence de certitude scientifique absolue ne doit pas servir de prétexte pour remettre à plus tard l'adoption de mesures effectives visant à prévenir la dégradation de l'environnement. » Cette approche a donné naissance au principe de précaution. Ce principe ne correspond pas à une formulation acceptée globalement, mais a été résumé en 1998 par un ensemble de scientifiques, avocats, responsables politiques et écologistes de la façon suivante : « Lorsqu'une activité menace d'endommager l'environnement ou la santé, des mesures de précaution devraient être prises, même si certaines relations de cause à effet ne sont pas pleinement établies de manière scientifique. »

Dans le contexte des nanotechnologies, le principe de précaution implique que les données scientifiques devraient être mises en application de façon proactive pour éviter les effets nocifs à venir des nanomatériaux manufacturés sur la santé et l'environnement. Les producteurs de nanoproducts peuvent voir cela comme une dépense additionnelle, mais le récit des 14 technologies nocives décrit dans un rapport de l'Agence européenne pour l'environnement en 2001 : *Late lessons from early warnings: The precautionary principle 1896-2000* (Signaux précoces et leçons tardives: le principe de précaution 1896–2000) donne un aperçu de tout ce qui peut mal se passer pour la santé et l'environnement lorsque les risques d'une technologie donnée sont ignorés lors de la phase de commercialisation, ou quand les preuves scientifiques sur les risques sont ignorées par les agences gouvernementales ou les entreprises pour des raisons strictement commerciales. Ainsi, si les avertissements en amont sur certaines technologies comme l'amiante au XIXe siècle avaient été soigneusement considérés et pris en compte, la société aurait immensément bénéficié de ces données sur l'amiante en tant que technologie. Il est clair que la société ne peut pas se permettre des omissions si coûteuses, en particulier dans le contexte des nanotechnologies.

Le principe de précaution assurerait que cette technologie ne provoque par de mort d'hommes, ne porte pas atteinte à la santé et ne cause pas de dégâts sur l'environnement. Les nanotechnologies pourraient plutôt fournir une plateforme novatrice permettant de tester comment les risques d'une technologie émergente rapidement devraient être gérés de façon proactive afin d'assurer le bien commun de la société.

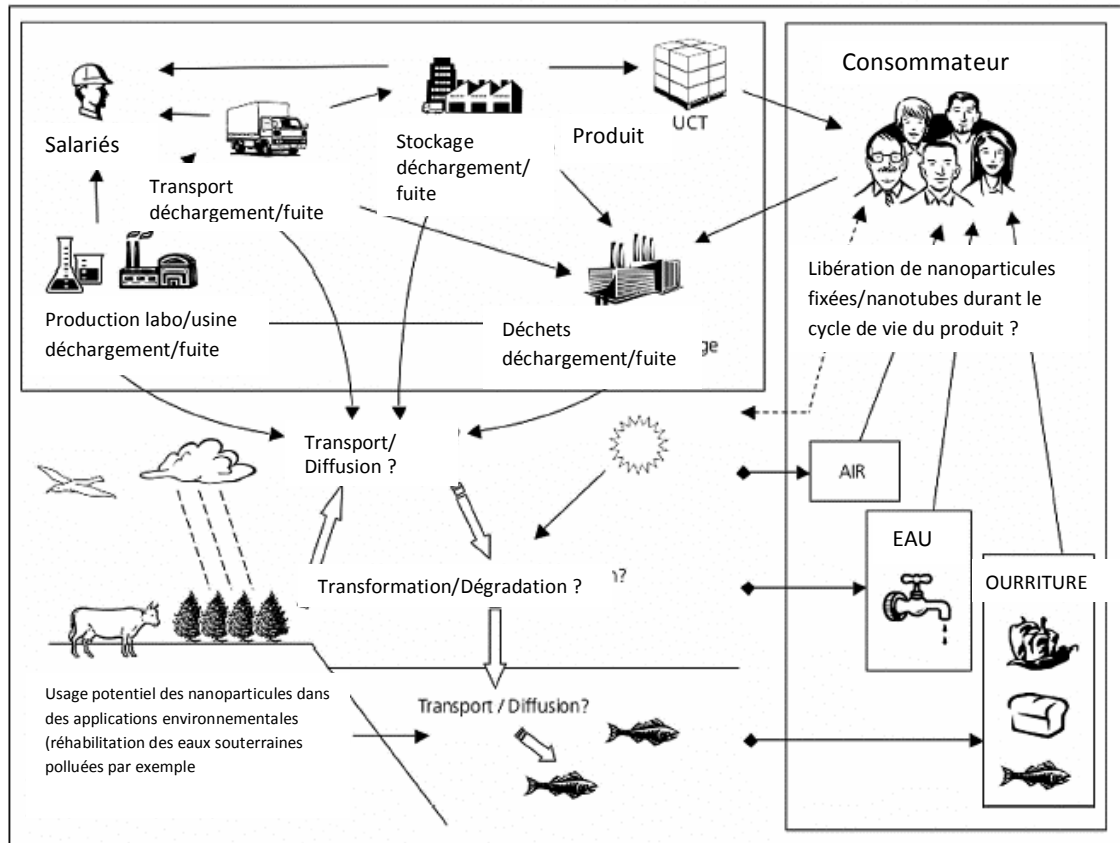
## **5. Exposition de l'homme aux nanomatériaux manufacturés et approches de la gestion des risques**

Comme indiqué plus haut, le risque se caractérise en fonction de la toxicité intrinsèque du produit et son exposition. L'objectif d'une gestion des risques chimiques est de protéger l'homme des effets nocifs d'une substance donnée. Afin de gérer correctement (quand ils peuvent l'être) les risques des nanomatériaux manufacturés sur l'homme et l'environnement, il est important de comprendre comment l'homme et l'environnement peuvent être exposés à ces matériaux à diverses étapes de leur cycle de vie. Il est par conséquent capital d'identifier tous les scénarios d'exposition possibles durant le cycle de vie complet des nanomatériaux manufacturés (par exemple durant les phases de production, de transport, de stockage, d'utilisation et de destruction) afin de soutenir une évaluation et une gestion des risques adaptées.

En 2004, un rapport de la UK Royal Society on Nanosciences and Nanotechnologies (Société royale britannique des nanosciences et nanotechnologies) a exprimé des inquiétudes quant aux dangers potentiels des nanomatériaux manufacturés pour la santé et l'environnement. Le schéma ci-après illustre les voies potentielles d'exposition aux nanomatériaux manufacturés pour l'homme et l'environnement qui ont été identifiées dans ce rapport.

## Figure 18. Voies d'exposition aux nanomatériaux

Figure 5.1 Some possible exposure routes for nanoparticles and nanotubes based on current and potential future applications. Very little is known about exposure routes for nanoparticles and nanotubes and this figure should be considered with this in mind (Adapted from National Institute for Resources and Environment, Japan [http://www.nire.go.jp/eco\\_tec\\_elfyouka\\_e.htm](http://www.nire.go.jp/eco_tec_elfyouka_e.htm)).



Source: RS&RAE, 2004: 37.

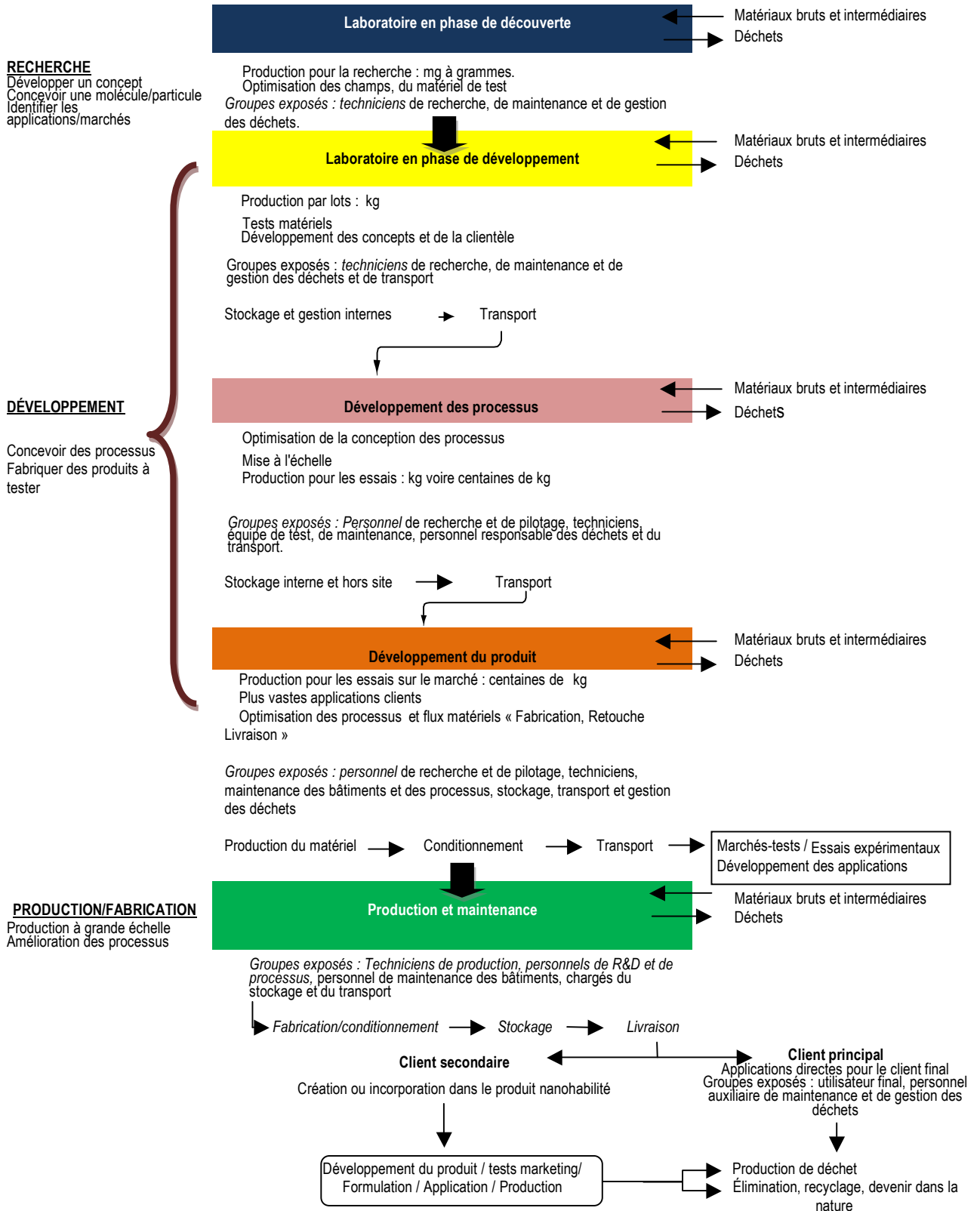
Les salariés présentent actuellement le plus haut degré d'exposition aux nanomatériaux manufacturés. Ils peuvent y être exposés durant diverses opérations telles que la libération de nanomatériaux manufacturés sous forme d'aérosol dans des circuits non fermés, durant la manipulation de différents types de nanomatériaux manufacturés suspendus dans des poudres et des liquides, avec pas ou peu d'équipement de protection, des opérations de nettoyage, durant la maintenance de l'équipement et les divers procédés servant à la production, et enfin, lors de la manipulation des flux déchets contenant les nanomatériaux manufacturés (généralement appelés nanodéchets).

Plusieurs rapports ont souligné que la plupart des nanomatériaux manufacturés étaient et continueraient à être produits principalement par de petites entreprises. Ces petites entreprises en Afrique et dans le monde entier n'ont jamais brillé par la sécurité de leurs installations pour leurs salariés, ni par la qualité de leurs protections contre l'exposition à des produits chimiques nocifs. Il n'existe à ce jour pas de preuve incontestable indiquant que la production des nanomatériaux manufacturés sera différente, ni que la protection des salariés sera gérée différemment.

En outre, à la lumière des tendances grandissantes de relocalisation des industries en raison des législations de plus en plus draconiennes sur le travail et l'environnement dans la plupart des pays développés à travers la plateforme d'investissement direct international (Foreign direct investment platform FDI.), il est clair que l'industrie des nanotechnologies ne fera pas exception. À mesure que le nombre de pays africains utilisant ou produisant des nanotechnologies augmente, les problèmes d'exposition au travail, d'utilisation et d'élimination des nanomatériaux manufacturés méritent d'être soigneusement étudiés pour s'assurer qu'aucun effet nocif ne résulte du développement des nanotechnologies.

Le Dr Schulte et ses collaborateurs du NIOSH ont présenté le diagramme suivant afin de faire ressortir les risques d'exposition aux nanomatériaux au travail. Même si les risques associés touchant l'environnement et le consommateur n'apparaissent pas dans ce diagramme, ils peuvent en toute logique être déduits pour chaque phase. Par exemple, toutes les phases produisent des déchets, comme on le voit sur la droite du diagramme. Ces déchets finissent dans la nature. Les mécanismes existants permettant d'éviter le rejet de nanomatériaux manufacturés dans la nature sont inadapés, comme l'a récemment souligné le Dr Musee en 2011.

**Figure 19. Lieux de travail comportant une potentielle exposition professionnelle aux nanoparticules manufacturées**



*Remarque : ce diagramme illustre le cycle de vie des nanomatériaux depuis le début de la recherche en laboratoire jusqu'au développement, à l'utilisation et à l'élimination du produit. Chaque étape de ce cycle de vie représente des opportunités pour les salariés de se voir exposés aux nanoparticules.*

*Source: Schulte, et coll. (2008).*

Ce diagramme montre aussi qu'au sein de chaque étape, les hommes sont sujets à divers degrés d'exposition, et au final confrontés à divers dangers, selon la nature de leur poste. En phase de recherche, par exemple, les chercheurs et techniciens sont soumis aux dangers des nanomatériaux manufacturés, y compris lors de la maintenance, de la gestion des déchets ou du stockage. Les transporteurs enlevant les nanodéchets dans les laboratoires risquent d'être aussi exposés aux nanodéchets manufacturés se trouvant dans les flux de déchet.

Dans la deuxième étape, le diagramme illustre le développement ou la production à grande échelle de nanomatériaux bruts. Les salariés directement impliqués et exposés incluent : les chercheurs, techniciens, personnels de pilotage, équipe de test, équipe de maintenance des bâtiments, et le personnel responsable du stockage et du transport des nanomatériaux vers des sites industriels pour qu'ils soient incorporés dans des produits, ainsi que les salariés s'occupant des déchets.

La phase suivante d'exposition se situe lors de la production, de la fabrication de produits intermédiaires et finaux. Les nanomatériaux sont incorporés par le biais de divers procédés industriels, avec pour objectif final de doter le produit d'avantages commerciaux ou utilitaires.

Le consommateur final se trouve directement exposé lors de l'utilisation des nanoproduits. Cela mène à différents degrés de risque dépendant du type du produit, de sa forme, des voies d'exposition (inhalation, ingestion, contact avec la peau, etc.) Le rapport entre l'exposition aux nanomatériaux et les dangers pour la santé est soumis à de multiples facteurs. Parmi ceux-ci, on trouve les propriétés inhérentes aux nanomatériaux, le degré d'exposition, les conditions environnementales, et l'utilisation de systèmes de protection tels que des équipements de protection individuels ou d'autres méthodes préventives.

L'ensemble des preuves désignant les risques associés à l'exposition aux nanomatériaux manufacturés appelle au développement et à l'application du principe de précaution pour contrôler l'exposition, en particulier en milieu professionnel. Afin de gérer les nanomatériaux manufacturés de façon proactive, les approches suivantes devraient être mises en œuvre afin de limiter l'exposition et d'améliorer notre compréhension collective des risques potentiels que les nanomatériaux manufacturés présentent.

Suivi de la santé des salariés sur leur lieu de travail: cela doit inclure une surveillance des risques, un suivi médical ainsi qu'un suivi transversal de la santé des salariés. Dans le contexte africain, en raison de ressources limitées, les gouvernements devraient instaurer au minimum, une obligation de suivi médical des salariés pour les industries fabriquant des nanomatériaux manufacturés. Cela implique que des entités indépendantes valident les données générées lors de ce suivi médical.

Exigence d'étiquetage pour tous les nanoproducts : l'absence d'information relative à la présence des nanomatériaux sur la plupart des nanoproducts actuellement disponibles sur le marché, y compris et en particulier en Afrique, est préjudiciable à la santé et au droit à l'information des salariés et des consommateurs. Pour garantir le respect de ce droit, tous les produits contenant des nanomatériaux, qu'ils soient fabriqués en Afrique ou importés, devraient être soumis à une obligation légale d'étiquetage adéquat. D'autres informations, y compris les données des essais avant mise sur le marché (considérés dans certaines juridictions comme des « données de préfabrication »), prouvant que le produit n'est pas dangereux devraient être fournies tout au long de la chaîne logistique. Cela permettrait de développer des mesures de contrôle et de gestion des risques.

Mesures de contrôle de l'exposition et équipement de protection individuel : des mesures spécifiques devraient être rendues obligatoires afin de s'assurer que les salariés ne sont pas exposés à des matériaux dangereux. De telles mesures comprennent l'utilisation de contrôles de fabrication (ventilation aspirante, conception des processus, conception des nanomatériaux manufacturés sans danger, utilisation de chimie humide lors de la production, circuit fermé) et des contrôles administratifs sous forme de politiques réduisant l'exposition des salariés aux nanomatériaux manufacturés (bonnes pratiques d'entretien, planification systématique des tâches que les salariés exécutent dans des zones hautement exposées afin de limiter/minimiser leur exposition, et leur nombre d'expositions). En outre, la fourniture d'équipement de protection individuelle adapté (ÉPI) aux salariés, tel que des respirateurs, des gants et des tenues protectrices, devrait aussi être requise. Il est de la plus haute importance que la fourniture d'ÉPI ne soit pas vue comme un substitut aux contrôles de fabrication, mais plutôt comme une mesure essentielle face aux incertitudes persistantes quant aux risques des nanomatériaux manufacturés.



## 6. Implications des nanotechnologies sur l'emploi

La question de l'impact sur l'emploi ne fait pas encore partie des programmes de recherche sur les implications sociales des nanotechnologies. Même s'il existe actuellement relativement peu de produits, d'industries et de salariés impliqués dans les nanotechnologies, comparé à d'autres domaines, il apparaît clair qu'il s'agit d'une haute technologie sophistiquée qui renforce la tendance à réduire les effectifs et automatiser les processus de production et de service. Tendance commencée avec la révolution microélectronique, et qui a causé une réduction massive d'effectifs dans de nombreux secteurs de l'économie.

**Figure 20. Central téléphonique**



Central téléphonique en 1930 et central téléphonique aujourd'hui

Les produits issus des nanotechnologies actuellement sur le marché nous permettent d'identifier trois caractéristiques communes : les produits sont dotés de fonctions multiples qui requéraient auparavant plus d'un produit (aspect multifonctions), les produits sont utiles plus longtemps, et ils utilisent moins de matières premières. Certains produits combinent deux ou trois de ces caractéristiques. Si l'on associe tout cela, cela signifie que la fabrication de ces produits va mener à une réduction de la demande de salariés. En outre, ces innovations réduisent la demande pour les produits traditionnels qui leur font concurrence.

L'industrie alimentaire illustre bien l'aspect multifonctions des nanotechnologies. Les entreprises d'agroalimentaire ajoutent aux aliments et aux boissons des vitamines, du collagène, divers extraits et d'autres substances contenues dans des nanocapsules. George Weston Foods ajoute l'acide gras oméga 3 à l'une de ses marques de pain de mie les plus populaires d'Australie. Qinhuangdao Ialji Ring Nano-Product Co. Ltd. enrichit son nanothé de sélénium. Voilà quelques exemples de produits nutraceutiques ayant simultanément plusieurs fonctions esthétiques, nutritionnelles et médicinales. Fonctions que l'on retrouvait auparavant dans plusieurs produits différents.

CHT Brazil Chemical (Brazil Quimica) produit du Nouwell E, une fibre textile ayant des fonctions cosmétiques, transférant de la vitamine E sur la peau et libérant du parfum. La Life Shirt,

par exemple, contrôle l'activité respiratoire, cardiaque et les changements de posture pour transférer ces informations à un ordinateur portable.

Ces produits multifonctions démontrent bien une tendance à fusionner plusieurs branches de productions, ce qui implique une reconfiguration des secteurs industriels et de la distribution des effectifs actuels. Il risque d'y avoir moins de postes disponibles et une demande réduite pour des salariés moins qualifiés. L'agrégation des fonctions mène aussi à la centralisation du transport, de la distribution, du marketing et de la commercialisation, ce qui peut causer un moindre besoin de salariés dans ces domaines également.

De nombreux produits issus des nanotechnologies sont utilisés pour augmenter la durée de vie des produits sur le marché. EMBRAPA a développé des pellicules comestibles dotées de nanoparticules pour recouvrir les noix de macadamia et empêcher la pénétration de l'oxygène et des vapeurs d'eau, ce qui permet à la noix de durer plus longtemps. Miller Brewing utilise des bouteilles faites d'un plastique incorporant des nanoparticules de céramique établissant une barrière qui empêche les molécules de dioxyde de carbone de s'échapper et les molécules d'oxygène d'entrer dans la bouteille, ce qui garde la bière fraîche et rallonge sa durée de vie dans les rayons d'un maximum de six mois. Les scientifiques des entreprises comme Kraft, Bayer, et Kodak sont en train de développer une variété de matériaux de conditionnement qui absorbent l'oxygène, détectent les agents pathogènes contenus dans les aliments, et alertent le consommateur lorsque la nourriture est périmée.

En se servant des nanotechnologies, les entreprises peuvent produire des produits ayant une meilleure durée de vie dans les supermarchés. Cela va aider les entreprises, car cela réduit la quantité de produits gaspillés. En outre, les activités économiques tournant autour des transports, du stockage, de l'assurance qualité, de la maintenance des rayonnages et d'autres fonctions seront réduites. Avec cette efficacité accrue, moins de salariés seront nécessaires. Quel type de politique publique les gouvernements envisagent-ils pour remédier à ces pertes d'emplois ? Aucun jusqu'ici.

D'autres produits exploitent les avantages des nouveaux matériaux issus des nanotechnologies pour se substituer à d'autres matières premières. Adidas utilise des nanotubes de carbone pour produire des chaussures de course dotées de systèmes de traction du poids plus légers. Easton Sport utilise des nanotubes de carbone pour produire des cadres de vélo. Elko's Invisicion se sert des propriétés conductrices des nanotubes de carbone dans la fabrication de revêtements transparents pour les écrans plats (téléviseurs) dotés d'éclairage par DELO et pour les téléphones à piles solaires. Les nanotubes pourraient remplacer les câbles de cuivre qui transmettent l'électricité, ce qui modifierait le commerce mondial. Braskem produit une résine de polypropylène avec des nanoparticules de céramiques ajoutées qui remplacent les métaux et autres plastiques dans les industries de l'automobile et de l'électroménager.

Ces changements dans les matériaux utilisés altèrent la distribution des ressources humaines entre les différents secteurs. Étant donné que l'exploitation des matières premières est liée à des spécificités géographiques, à un niveau national et international, les changements dans la demande porteront une nouvelle distribution régionale et internationale des offres d'emploi.

## **7. SAICM ET LES RECOMMANDATIONS DES PAYS AFRICAINS**

L'approche Stratégique Internationale de Gestion de Produits Chimiques (SAICM) est un accord volontaire, approuvé à Dubaï, dans les Émirats Arabes Unis en février 2006 lors de la Conférence Internationale sur la Gestion des Produits Chimiques. L'Approche Stratégique se compose de la Déclaration de Dubaï, de la Stratégie Politigue Globale (Overarching Policy Strategy ou OPS), et du Plan d'action mondial (Global Plan of Action ou GPA). Elle constitue un cadre réglementaire visant à parvenir à une gestion rationnelle des produits chimiques, tout au long de leur cycle de vie d'ici à 2020 pour réduire au minimum , leurs effets néfastes sur la santé et l'environnement. SAICM est administrée par le Programme des Nations Unies pour l'environnement, avec le soutien effectif de l'Organisation Mondiale pour la Santé, pour en gérer le secrétariat.

SAICM est le seul espace international multilatéral où l'on aborde le développement des produits chimiques durant leur cycle de vie tout entier, y compris leur impact sur la santé au travail et sur l'environnement. Les participants de SAICM incluent des pays industrialisés, des pays à économies en transition et des pays en voie de développement, ainsi que des organisations intergouvernementales issues de l'IOMC (Programme interorganisationnel pour une gestion rationnelle des produits chimiques ), et des groupes issus de la société civile d'intérêts publics ou industriels. Les décisions de SAICM sont adoptées par consensus. Bien que SAICM ne soit pas un accord contraignant, chaque pays membre a la responsabilité de développer un plan national afin d'en atteindre les objectifs, y compris en passant par la mise en oeuvre d'activités spécifiques du Plan d'action globale (GPA).

Lors de la Deuxième Conférence Internationale sur la Gestion des Produits Chimiques (ICCM-2,) qui s'est tenue à Genève en 2009, les gouvernements et les ONG ont reconnu et décidé que les nanotechnologies et les nanomatériaux manufacturés étaient une question émergente dont SAICM devait s'emparer (Résolution 11-4-E). Cette résolution se concentre particulièrement sur l'assistance à porter aux pays en voie de développement et aux pays à économies en transition afin qu'ils maximisent les bénéfices des nanotechnologies tout en minimisant leurs dangers. En outre, elle appelle les gouvernements et l'industrie à maintenir le dialogue avec les salariés et leurs représentants lors de la création et de la mise en oeuvre des réglementations, afin de protéger la santé et l'environnement, et de maintenir un dialogue public ouvert avec tous les secteurs concernés.

Dans ce cadre, des ateliers régionaux de sensibilisation et de renforcement des capacités été organisés en Afrique, en Amérique latine, et en Asie par l'Institut de Nations Unies pour la formation et la recherche (UNITAR) et l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE). En Afrique, ces ateliers ont eu lieu à Abidjan, en Côte d'Ivoire, du 25 au 29 janvier 2010, et à Nairobi, au Kenya, du 5 au 8 avril 2011. Au cours de ces rencontres régionales, une série de recommandations sur les politiques concernant les nanotechnologies et les

nanomatériaux manufacturés a été adoptée à l'unanimité. En outre, l'atelier de Nairobi a abordé la question de l'inclusion de certaines activités liées aux nanotechnologies dans le Plan global d'action. Débat qui avait pour origine une proposition du gouvernement suisse.

Ci-dessous se trouve un résumé général des thèmes principaux et des propositions clés inclus dans les résolutions africaines ainsi que quelques commentaires additionnels. Dans ces résolutions, les acteurs africains de SAICM ont appelé à :

- L'application du **principe de précaution** pendant le cycle de vie complet des nanomatériaux manufacturés. La résolution adoptée à Abidjan mentionnait le « rôle prépondérant du principe de précaution pour aborder les questions relatives aux nanotechnologies et nanomatériaux manufacturés tout au long de leur cycle de vie » (résolution 1-a) Il faut garder à l'esprit que l'application du principe de précaution fait partie de l'article 15 de la Déclaration de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement proclamée à Rio de Janeiro en 1992 et ratifiée par tous les pays. L'application du principe de précaution en tant que **principe général de gestion** des risques était aussi une recommandation unanimement approuvée par les gouvernements, l'industrie et d'autres groupes non gouvernementaux dans la déclaration sur les nanomatériaux et les nanotechnologies de l'International Forum on Chemical Safety (IFCS, Forum Intergouvernemental sur la Sécurité Chimique) qui s'est tenue à Dakar, au Sénégal en septembre 2008. Malheureusement, lors de l'ICCM2, en 2009, la pression des pays développés et de l'industrie est parvenue à empêcher que ce principe ne soit invoqué. Quand bien même, ce principe devrait être inclus dans la conception des politiques nationales sur les nanotechnologies. La résolution d'Abidjan va même plus loin, appelant à la mise en œuvre du principe « pas de données, pas de marché », qui spécifie que les données nécessaires à l'évaluation des risques d'être rendues disponibles avant toute mise sur le marché et toute commercialisation de produits des nanotechnologies (résolution d'Abidjan "1) c).
- **Transparence et reconnaissance du droit à l'information des consommateurs et des salariés** : Les résolutions demandent aux producteurs de fournir les informations nécessaires sur les contenus des nanomatériaux manufacturés, afin que les autorités et les consommateurs aient connaissance des risques potentiels grâce à l'enregistrement et l'étiquetage des produits (résolution d'Abidjan 1) d, l, et o," ; Nairobi, résolution "1) a-i, a-iii ; 2) b). Des résolutions ont aussi appelé à l'étiquetage obligatoire des produits contenant des nanomatériaux (résolution d'Abidjan 1-o" ; résolution de Nairobi 2) b) afin de permettre aux consommateurs de faire un choix libre et éclairé de consommation. Ces termes ne sont pas sans rappeler la Convention 154 sur la négociation collective de l'Organisation Internationale du Travail qui reconnaît le droit des syndicats à avoir accès aux informations des producteurs.
- **Renforcement des ressources pour l'évaluation des risques potentiels des nanomatériaux manufacturés**, en particulier pour les groupes les plus vulnérables, comme les enfants, les femmes enceintes et les personnes âgées (résolution d'Abidjan "1) f) ; Nairobi, 2) a). Il convient d'ajouter que cette évaluation doit être mise en œuvre dans le cadre d'institutions nationales et régionales indépendantes de l'industrie.
- L'incorporation d'une **participation multisectorielle, en particulier des secteurs syndicaux et médicaux**, dans l'élaboration des politiques, des programmes et des supports de formation liés aux questions de santé au travail et de sécurité de l'environnement posées par les

nanotechnologies et nanomatériaux manufacturés (résolution de Côte d'Ivoire ; "1) q). La participation des salariés, des consommateurs et d'autres groupes d'intérêt public est essentielle afin d'élaborer des politiques sur les sciences et technologies tournées vers la satisfaction des besoins sociaux, la formation des effectifs, et la fourniture de mesures de réparation pour le chômage technologique en résultant. Les salariés doivent savoir quand ils manipulent des nanoparticules et devraient aussi être consultés pour ce qui est des programmes de sécurité au travail. Les salariés, ainsi que les patients, exposés aux nanoparticules ou nanodispositifs doivent en être informés (résolution de Côte d'Ivoire "1)

- Établissement de **réglementations commerciales** telles que des codes de douanes spécifiques aux nanomatériaux manufacturés. Certaines résolutions ont aussi inclus un appel à ce que **les déchets contenant des nanomatériaux manufacturés ne soient pas transférés vers des pays n'ayant pas la capacité de les éliminer correctement**, et proposent une reconnaissance **du droit des pays d'accepter ou de rejeter l'importation et l'utilisation de nanomatériaux manufacturés et de produits en contenant**, dans le but de minimiser les risques. La résolution évoque enfin la nécessité de réguler le transport des nanomatériaux manufacturés sur la base de critères de sécurité (résolution d'Abidjan "1) g ; 2 ; Nairobi, 2) f).

Cette question émergente a été débattue plus avant au cours de la réunion du groupe de travail à composition non-limitée (Open Ended Working Group ou OEWG) de SAICM qui s'est réuni à Belgrade, en Serbie, du 15 au 18 novembre 2011. Les débats ont porté en particulier sur la proposition d'ajouter certaines nanoactivités au GPA, et sur les futurs travaux relatifs aux nanotechnologies mis en œuvre à la suite à la troisième ICCM (qui doit avoir lieu à Nairobi en septembre 2012). Lors des débats, des appels provenant des régions africaines n'ont pas été pris au sérieux et la plupart des propositions pour l'inclusion de nouvelles nanoactivités au GPA ont été refusées par l'industrie chimique et plusieurs pays industrialisés, y compris les États-Unis, le Canada, le Japon et l'Australie. Il est donc indispensable que les organisations de la société civile demandent aux gouvernements africains de consulter les ONGs et se fassent les représentants de l'intérêt général plutôt que des intérêts commerciaux dans les débats qui auront lieu lors de la troisième conférence de l'ICCM. Les pays africains doivent défendre leurs positions, telles qu'exprimées dans les deux résolutions adoptées en 2010 et 2011, et maintenir leurs recommandations pour l'inclusion de nanoactivités au GPA. L'Afrique, à l'échelle régionale, devrait se coordonner avec d'autres groupes régionaux, tels que la région de l'Amérique latine et caraïbe, afin d'accomplir l'objectif stratégique général de SAICM consistant à réduire de façon significative les risques survenant lors de la production et l'utilisation des nanomatériaux manufacturés, et d'augmenter l'importance de leurs réponses à apporter aux véritables nécessités sociales des pays africains.

## Bibliographie

- Adidas (2008). Olympic hopeful Jeremy Wariner to compete in revolutionary track spike at U.S. Olympic trials. (L'espoir olympique Jeremy Wariner participera au tournoi éliminatoire américain des JO avec des crampons révolutionnaires) *Communiqué de presse*, 28 juin. [http://www.press.adidas.com/en/DesktopDefault.aspx/tabid-11/16\\_read-9399/](http://www.press.adidas.com/en/DesktopDefault.aspx/tabid-11/16_read-9399/).
- Basson, A. (2003). *Ready to Wear –Innovative Textiles with Medical Applications (Prêt à porter - textiles novateurs dotés d'applications médicales)*, Frost & Sullivan Newsletter, 25 juillet. <http://www.frost.com/prod/servlet/market-insight-top.pag?docid=4950390>.
- Behr Process Corp. (sans date). Nos produits <http://www.behr.com/Behr/home#>
- BMC Trading AG (sans date). Cycles : conception de cadres. <http://www.bmc-racing.com/en/us/bikes/technology/frame-design/>.
- Cheng-Chung, C. ; Hsiag-Yun, H. ; Qi-Sheng, H. ; Chun-Hoth, C. ; Ya-Wen, P. ; Huei-Wen, C. ; & Pan-Chyr, Y. (2008). Single-Walled Carbon Nanotubes Can Induce Pulmonary Injury in Mouse Model (Modèle indiquant que les nanotubes de carbone peuvent causer des blessures pulmonaires chez la souris) *Nano Lett.*, 8(2) : 437-445.
- Choi, J.Y. ; Ramachandran, G. ; Kandlikar, M. (2009). The impact of toxicity testing costs on nanomaterial regulations (Impact des coûts des tests de toxicité sur les réglementations sur les nanomatériaux). *Environmental Science and Technology*, 20 février
- Deng, X. ; Luan, O. ; Chen, W. ; Wang, Y. ; Wu, M. ; Zhang, H. ; & Zheng, J. (2009). Nanosized zinc oxide particles induce neural stem cell apoptosis (Les particules d'oxyde de zinc à échelle nano provoquent une apostasie des cellules souches cérébrales). *Nanotechnology*, 20, 115101.
- DHHS (Department of Health and Human Services, département de la Santé et des Services sociaux). Centers for Disease Control and Prevention (Centres pour le contrôle et la prévention des maladies). National Institute for Occupational Safety and Health (Institut national pour la santé et la sécurité au travail). (2009). *Approaches to Safe Nanotechnology (Approches pour des nanotechnologies sûres)* . DHHS (NIOSH).
- Elko's (sans date). Why Choose Invisicon® Transparent Conductive Films for your Display System? (Pourquoi choisir les pellicules conductrices transparentes Invisicon® pour votre système d'affichage ?) <http://www.eikos.com/advantages.html> <http://www.eikos.com/advantages.html> ETC Group (2003). Size Matters! The Case for a Global Moratorium (La taille est importante ! Plaidoyer pour un moratorium global). *Occasional Paper Series*, 7(1), Avril.
- ETC Group (2003). *The Big Down: Atomtech – Technologies Converging at the Nano-Scale (L'infiniment petit : Atomtech – les technologies convergent vers une nanoéchelle)*. <http://www.etcgroup.org/upload/publication/171/01/thebigdown.pdf> <http://www.etcgroup.org/upload/publication/171/01/thebigdown.pdf>
- ETC Group (2005). *Report Prepared for the South Centre - The Potential Impacts of Nano-Scale Technologies on Commodity Markets: The Implications for Commodity Dependent Developing Countries (Rapport préparé pour le South Center - les impacts potentiels des technologies à nanoéchelle sur les marchés de produits de base : les implications sur les pays en voie de développement dépendant des produits de base)*. <http://www.etcgroup.org/en/node/45>
- CES (2008, Confédération européenne des syndicats). Résolution de la CES sur les nanotechnologies et les nanomatériaux. <http://www.nanocap.eu/Flex/Site/Downloadc930.pdf> [www.nanocap.eu/Flex/Site/Downloadc930.pdf](http://www.nanocap.eu/Flex/Site/Downloadc930.pdf) EurActive (2009). « Pas de données, pas de marché » pour les nanotechnologies, selon les membres du parlement européen. Actualités. 2 avril, 2009. <http://www.euractiv.com/en/science/data-market-nanotechnologies-meps/article-180893>
- Agence européenne pour l'environnement (2001). Late Lessons from Early Warnings: The Precautionary Principle 1896–2000

(Signaux précoces et leçons tardives: le principe de précaution 1896–2000) Copenhague, Danemark : Agence européenne pour l'environnement.

- Parlement Européen (2009). Novel foods, MEPs set new rules (Aliments nouveaux, les membres du Parlement Européen établissent de nouvelles règles) [http://www.europarl.europa.eu/news/expert/infopress\\_page/067-52498-082-03-13-911-20090324IPR52497-23-03-2009-2009-false/default\\_en.htm](http://www.europarl.europa.eu/news/expert/infopress_page/067-52498-082-03-13-911-20090324IPR52497-23-03-2009-2009-false/default_en.htm)
- Federici, Gillian; Shaw, Benjamin J. ; & Handy, Richard D. (2007). Toxicity of titanium dioxide nanoparticles to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) : Gill injury, oxidative stress, and other physiological effects (Toxicité des nanoparticules de dioxyde de titane sur les truites arc-en-ciel ou *Oncorhynchus mykiss* : blessures des branchies, stress oxydatif et autres effets physiologiques). *Aquatic Toxicology*, 84, 4, 415-430.
- FoE – A. (Les Amis de la Terre – Australie). (2006). *Nanomaterials, sunscreens and cosmetics : small ingredients big risks* (*Nanomatériaux, filtres solaires et cosmétiques : petits ingrédients, gros risques*). FoE. <http://nano.foe.org.au/node/125>»<http://nano.foe.org.au/node/125>.
- Garber, C. (2006). Nanotechnology Food Coming to a Fridge Near You (Aliments issus des nanotechnologies : prochainement dans votre frigo). *NanoWerk*, Dec. 28. <http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=1360.php> Gatchair, S. (2010). Potential Implications for Equity in the Nanotechnology Workforce in the U.S. (Implications potentielles pour l'équité dans les effectifs travaillant dans les nanotechnologies aux États-Unis) dans : Cozzens, S. & Wetmore, J. *Yearbook of Nanotechnology and Society (Annuaire sur les nanotechnologies et la société)*, Vol. III : Nanotechnology, Equity and Equality (Nanotechnologies, équité et égalité). New York : Springer
- Ghafari, P ; St-Denis, C.H. ; Power, M.E. ; Xu, J. ; Tsou, V. ; Mandal, H.S. ; Bols, N.C. & Xiaowu, T. (2008). <http://www.nature.com/nano/journal/v3/n6/full/nano.2008.109.html> Impact of carbon nanotubes on the ingestion and digestion of bacteria by ciliated protozoa (Impact des nanotubes de carbone sur l'ingestion et la digestion de bactéries chez les protozoaires ciliés). *Nature Nanotechnology*, prépublication avancée en ligne le 11 mai.
- Howard, V. (2004). [Conférence] *Nanotex 2004*, Daresbury Laboratories. Warrington, Angleterre. Dans : *SmallTimes* (14 janvier 2004). British scientist : Nanoparticles might move from mom to fetus (Les nanoparticules peuvent passer de la mère au fœtus). [http://www.smalltimes.com/Articles/Article\\_Display.cfm?ARTICLE\\_ID=269201&p=109](http://www.smalltimes.com/Articles/Article_Display.cfm?ARTICLE_ID=269201&p=109)Invernizzi, N. & Foladori, G. (2010). Nanotechnology implications for labor (Implications des nanotechnologies sur le travail). *Nanotechnology Law & Business Journal*, 7, 1 : 68-78Kaluza, S. ; Balderhaar, J.K. ; Orthen, B. ; Honnert, B. ; Jankowska, E. ; Pietrowski, P. ; Rosell, M.G. ; Tanarro, C. ; Tejedor, J. ; & Zugasti, A. (2009). *Workplace exposure to nanoparticles (Exposition aux nanoparticules sur le lieu de travail)*. Observatoire européen des risques. Analyse documentaire. Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail.
- Köhler, A. ; Som, C. ; Helland, A. ; & Gottschalk, F. (2008). Studying the potential release of carbon nanotubes throughout the application life cycle (Étude sur la libération potentielle de nanotubes de carbone au long du cycle de vie de l'application). *Journal of Cleaner Production*. 16 (8-9):927-937.
- Kulinowski, K. (2009). Temptation, Temptation, Temptation: Why Easy Answers About Nanomaterial Risk are Probably Wrong (La tentation : pourquoi les réponses faciles sur les risques des nanomatériaux sont certainement erronées). *AzoNanotechnology*.
- Leroueil, P. R. ; Berry, S. A. ; Duthie, K. ; Han, G. ; Rotello, V. M. ; McNerny, D. Q. ; Baker, J.R. Jr. ; Orr, B. G. ; & Banaszak Holl, M. M. (2008). Wide Varieties of Cationic Nanoparticles Induce Defects in Supported Lipid Bilayers (Une grande variété de nanoparticules cationiques induit des défauts dans les bicouches lipidiques supportées). *Nano Lett.*, 8 (2) : 420-424.
- Lyons, K. (2006). Nanotech Food Futures? (Quel avenir pour les aliments nanotechnologiques ?) *Chain Reaction*, 97, 38-39. [http://www.foeeurope.org/publications/2006/Size\\_matters\\_foe\\_australia.pdf](http://www.foeeurope.org/publications/2006/Size_matters_foe_australia.pdf) Marchant, G. E. ; Sylvester, D.J. ; & Abbott, K.W. (2008). Risk Management Principles for Nanotechnology (Principes de gestion des risques pour les nanotechnologies). *Nanoethics*, 2: 43-60.
- Maynard, A. D. (2006). Nanotechnology: Assessing the risks (Nanotechnologies : évaluation des risques). *NanoToday*, mai : 22-33 Maynard, A. D. ; Aitken, R. J. ; Butz, T. ; Colvin, V. ; Donaldson, K. ; Oberdörster, G. ; Philbert, M.A. ; Ryan, J. ; Seaton, A. ; Stone, V. ; Tinkle, S.S. ; Tran, L. ; Walker, N. J. ; & Warheit, D. B. (Nov. 2006). Safe handling of nanotechnology (Manipulation sécurisée des nanotechnologies). *Nature*, 444, 267-269.

- Meridian Institute (Institut Méridien). (2007). *Nanotechnology, Commodities and Development (nanotechnologies, produits de bases et développement)*. Article de fond pour l'International Workshop on Nanotechnology, Commodities and Development (Atelier international sur les nanotechnologies, les produits de base et le développement), Rio de Janeiro, 29-31 mai. [http://www.merid.org/nano/commoditiesworkshop/files/Comm\\_Dev\\_and\\_Nano\\_FINAL.pdf](http://www.merid.org/nano/commoditiesworkshop/files/Comm_Dev_and_Nano_FINAL.pdf) Miller, G. & Rye, S. (2007). Del laboratorio a la cadena alimenticia. La nanotecnología en los alimentos y la agricultura (Du laboratoire à la chaîne alimentaire. Les nanotechnologies dans les aliments et l'agriculture). Dans : Foladori, G & Invernizzi, N. *Nanotecnologías en la Alimentación y Agricultura*. UdeLAR-Extensión, UITA, ReLANS. Montevideo.
- Miller, G. (2008). Mounting evidence that carbon nanotubes may be the new asbestos (Preuves croissantes que les nanotubes de carbone pourraient être le nouvel amiante). Friends of the Earth Australia (Amis de la Terre Australie). [http://nano.foe.org.au/sites/default/files/Mounting%20evidence%20that%20carbon%20nanotubes%20may%20be%20the%20new%20asbestos%20-%20August%202008\\_0.pdf](http://nano.foe.org.au/sites/default/files/Mounting%20evidence%20that%20carbon%20nanotubes%20may%20be%20the%20new%20asbestos%20-%20August%202008_0.pdf) Musee, N. (2011). Nanotechnology and the environment : a waste management perspective (Les nanotechnologies et l'environnement : le point de vue de la gestion des déchets). *Environment International*, 37 : 112–128 Musee, N. (2011). Nanotechnology risk assessment from a waste management perspective: are the current tools adequate? (Les risques des nanotechnologies sous l'angle de la gestion des déchets : les outils actuels sont-ils adéquats ?) *Journal of Human and Experimental Toxicology*, 30(8) : 820-835.
- Musee, N. (2011). Simulated environmental risk assessment of nanomaterials : a case of cosmetics in Johannesburg City (Évaluation des risques des nanomatériaux sur l'environnement par simulation : le cas des cosmétiques dans la ville de Johannesburg) , *Journal of Human and Experimental Toxicology*, 30(9) : 1181–1195 Musee, N. ; Obersholster, P. J. ; Sikhwihlu, L. ; & Botha, A.-M. (2010). The effects of engineered nanoparticles on survival, reproduction, and behaviour of freshwater snail, *Physa acuta* (Effets des nanoparticules manufacturées sur la survie, la reproduction et le comportement des escargots *Physa acuta*) (Draparnaud, 1805), *Chemosphere*, 81 : 1196 –1203.
- Musee, N. ; Thwala, M. ; & Nota, N. (2011). The antibacterial effects of engineered nanomaterials : implications to wastewater treatment plants (Effets antibactériens des nanomatériaux manufacturés : implications liées aux usines de traitement des eaux usées), *Journal of Environmental Monitoring*, 13(5) : 1164–1183 Nanoaction (2007). *Principles for the Oversight of Nanotechnology and Nanomaterials (Principes pour la surveillance des nanotechnologies et des nanomatériaux)*. NanoAction. Projet de l'International Center for Technology Assessment (Centre international pour l'évaluation des technologies). 2007. <http://www.nanoaction.org/nanoaction/page.cfm?id=223> Nanoceo (Organisation pour l'engagement citoyen sur les nanotechnologies). Base de données. <http://www.nanoceo.net/nanorisks>
- Nygaard, U. ; Hansen, J.S; Samuelsen, M. ; Alberg, T. ; Marioara, C. D. ; & Løvik, M. (2009). Single-Walled and Multi-Walled Carbon Nanotubes Promote Allergic Immune Responses in Mice (Les nanotubes de carbone à simple paroi et à parois multiples suscitent des réactions immunitaires allergiques chez la souris). *Toxicological Sciences*, 109(1) : 113-123 Oberdorster, G ; Oberdorster, E. ; & Oberdorster, J. (2005). Nanotoxicology: An emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles (Nanotoxicologie : une discipline émergente issue des études des particules ultrafines). *Environ Health Perspect.*, 113 (7) : 823-839.
- Obersholster, P. J. ; Musee, N. ; Botha, A–M. ; Chelule, P. K. ; & Ashton, W.F. (2011). Assessment of the effect of nanomaterials on sediment-dwelling invertebrate *Chironomus tentans* larvae (Évaluation des effets des nanomatériaux sur les invertébrés benthiques, *Chironomus tentans* larvae), *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74(3) : 416-423.
- Oliveira, M. de. (fév. 2007). Unbreakable: The Company Braskem is Producing Resins Using Nanotechnology that Result in Plastics that are More Resistant (Incassable : la société Braskem produit des résines utilisant les nanotechnologies pour produire des plastiques plus résistants), *Pesquisa Fapesp Online*. <http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=1899&bd=1&pg=1&lg=en> Poland, C.A. ; Duffin, R. ; Kinloch, I ; Mayonard, A. ; Wallace, W.A.H. ; Seaton, A. ; Stone, V. ; Brown, S. ; MacNee, W. ; & Donaldson, K. (2008). Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot study (Les nanotubes de carbone introduits dans la cavité abdominale des souris font preuve d'un pouvoir pathogène similaire à celui de l'amiante dans une étude pilote). *Nature Nanotechnology* pré-publié en ligne le 18 mai.
- Qinghuangdao Ialji Ring Nano-Product Co. Ltd. (n/d). About Nanotea (Au sujet des nanothés). <http://web.archive.org/web/20071217224829/http://www.369.com.cn/En/nanotea.htm> Roberts, A.P; Mount, A.S. ; Seda, B. ; Souther, J. ; Qiao, R. ; Lin, S. ; Chun, P. ; Apparao, K. ; Rao, M. ; & Klaine, S.J. (2007). In vivo Biomodification of Lipid-Coated Carbon Nanotubes by *Daphnia magna* (Biomodification in vivo des nanotubes de carbone revêtus de lipides chez les



- Daphnia magna*, *Environ. Sci. Technol.*, 41 (8) : 3025-3029.
- Royal Commission on Environmental Pollution (Commission royale sur la pollution environnementale, nov. 2008). Novel Materials in the Environment : The case of nanotechnology (Nouveaux matériaux dans l'environnement : le cas des nanotechnologies). Londres : TSO (The Stationery Office).  
<http://www.rcep.org.uk/novel%20materials/Novel%20Materials%20report.pdf> RS&RAE (Royal Society & Royal Academy of Engineers, Société royale et académie royale d'ingénieurs). (2004). *Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties (Nanosciences et nanotechnologies : opportunités et incertitudes)*.  
<http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm> Sarma, S. D. & Chaudhury, S. (2009). SocioEconomic Implications of Nanotechnology Applications (Implications socio-économiques des applications des nanotechnologies). *Nanotechnology Law & Business Journal*, 6(2) : 278-310.
- Schulte, P. ; *et coll.* (2008). Occupational Risk Management of Engineered Nanoparticles (Gestion des dangers des nanoparticules manufacturées sur le lieu de travail). *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 5(4) : 239-249.
- ScienceDaily (23 oct. 2008). Nanomaterials May Have Large Environmental Footprint (Les nanomatériaux pourraient avoir une empreinte écologique non négligeable). ScienceDaily. <http://www.sciencedaily.com/releases/2008/10/081022135805.htm>
- Sharma, V., Shukla, R.K., Saxena, N. ; *et coll.* (2009). DNA damaging potential of zinc oxide nanoparticles in human epidermal cells (Dommages potentiels sur l'ADN causés par les nanoparticules d'oxyde de zinc sur les cellules épidermiques humaines). *Toxicology Letters*, 185(3) : 211-218.
- Spatuzza, A. (2006). *Braskem launches nanotechnology compound resin (Braskem lance une résine issue des nanotechnologies) – Brazil, Bus. News Americas*, 7 nov. [http://www.bnamericas.com/news/oilandgas/Braskem\\_launches\\_nanotechnology\\_compound\\_resin](http://www.bnamericas.com/news/oilandgas/Braskem_launches_nanotechnology_compound_resin)»[http://www.bnamericas.com/news/oilandgas/Braskem\\_launches\\_nanotechnology\\_compound\\_resin](http://www.bnamericas.com/news/oilandgas/Braskem_launches_nanotechnology_compound_resin)
- Takagi, A. ; Hirose, A. ; Nishimura, T. ; Fukumori, N. ; Ogata, A. ; Ohashi, N. ; Kitajima, S. ; & Kanno, J. (2008) Induction of mesothelioma in p53<sup>+/-</sup> mouse by intraperitoneal application of multi-wall carbon nanotube (Induction de mésothéliome chez la souris p53<sup>+/-</sup> par application intrapéritoneale de nanotubes de carbone à parois multiples). *The Journal of Toxicological Sciences*, 33 : 105-116.
- Takeda, K ; Suzuki, K ; Ishihara, A ; Kubo Irie, M ; Fujimoto, R ; Tabata, M ; Oshio, S ; Nihai, Y ; Ihara, T ; & Sugamata, M. (2009). Nanoparticles transferred from pregnant mice to their offspring can damage the genital and cranial nerve systems (Les nanoparticules transférées des souris enceintes à leurs embryons peuvent endommager les appareils génitaux et le système nerveux crânien). *Journal of Health Sciences*, 55(1) : 95-102.
- Tinkle, S.S; Antonini, J.M. ; Rich, B.A. ; Robert, J.R. ; Salmen, R. ; DePree, K. ; & Adkins, E.J. (2003). Skin as a route of exposure and sensitization in chronic beryllium disease (La peau comme voie d'exposition et de sensibilisation dans la béryllose chronique). *Environ Health Perspect.*, 111(9):1202–1208 Tobin, L. & Dingwall, K. (2011). ICPCNanoNet, Third Annual Report on Nanoscience and Nanotechnology in Africa, Institute of Nanotechnology (ICPCNanoNet, Troisième rapport annuel sur les nanosciences et les nanotechnologies en Afrique, Institut des nanotechnologies). 22 septembre. [http://www.rel-uita.org/nanotecnologia/resolucion\\_uita\\_nano\\_eng.htm](http://www.rel-uita.org/nanotecnologia/resolucion_uita_nano_eng.htm).
- Visser, R. (avec la coopération de : G. Karlaganis, V. Murashov & S. Seo). (2011). Nanomaterials: applications, implications and safety management in the SAICM context (Nanomatériaux : applications, implications et gestion de la sécurité dans le contexte de la SAICM). Dans : Report on nanotechnologies and manufactured nanomaterials (Rapport sur les nanotechnologies et les nanomatériaux manufacturés). SAICM/OEWG.1/INF/8 30 sept., 2011. [http://www.saicm.org/documents/OEWG/Meeting%20documents/OEWG1%20INF8\\_Nano%20report.pdf](http://www.saicm.org/documents/OEWG/Meeting%20documents/OEWG1%20INF8_Nano%20report.pdf)
- Von Vroekhuizen, P. & Reijnders, L. (2011). Building Blocks for a Precautionary Approach to the Use of Nanomaterials: Positions Taken by Trade Unions and Environmental NGOs in the European Nanotechnologies Debate (Construction pas à pas pour instaurer un principe de précaution sur l'utilisation des nanomatériaux : positions des syndicats et des ONG environnementales dans le Débat européen sur les nanotechnologies). *Risk Analysis*, 31(10):1646-1657.
- Wiechers, J. W. & Musee, N. (2010). Engineered Nanoparticles and Cosmetics : Facts, issues, knowledge gaps, and challenges (Nanoparticules manufacturées et cosmétiques : faits, problèmes, zones d'ombre et défis), *Journal of Biomedical Nanotechnology*, 6 : 408-431.
- Wilhelm, F.H. ; Roth, W.T. ; & Sackner, M.A. (2003). The LifeShirt. An Advanced System for Ambulatory Measurement of Respiratory and Cardiac Function (Système de pointe pour le suivi ambulatoire des fonctions respiratoires et cardiaques).

Behavior Modification, 5 : 671-691 Wong-Ekkabut, J. ; Baoukina, S. ; Triampo, W. ; Tang, I-M. ; Tieleman, D. P. ; & Monticelli, L. (2008). Computer simulation study of fullerene translocation through lipid membranes (Étude par simulation informatique de la translocation du fullerène à travers les membranes lipidiques). *Nature Nanotechnology*. Prépublié en ligne le 18 mai.

Woodrow Wilson International Center for Scholars (2009, Centre international d'étude de Woodrow Wilson). Inventory of Consumer Products (Inventaire des produits de consommation). Project on Emerging Nanotechnologies (Projet sur les nanotechnologies émergentes). Washington D.C. : Woodrow Wilson International Center for Scholars (Centre international d'étude de Woodrow Wilson). <http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/>

Yang, W. ; Shen, C. ; Ji, Q. ; An, H. ; Wang, J. ; Liu, Q. ; & Zhang, Z. (2009). Food storage material silver nanoparticles interfere with DNA replication fidelity and bind with DNA (Les nanoparticules d'argent des matériaux de stockage alimentaire interfèrent avec la fidélité de réplication de l'ADN et se lient à l'ADN), *Nanotechnology*, 20Zhu, L. ; Chang, D.W; & Hong, D.L.Y. (2007). DNA damage induced by multiwalled carbon nanotubes in mouse embryonic stem cells (Dommages sur l'ADN causés par les nanotubes de carbone à parois multiples sur les cellules souches embryonnaires de la souris). *Nano Lett.*, 7(12) : 3592-3597.



[www.csir.co.za](http://www.csir.co.za)



[www.relans.org](http://www.relans.org)



a toxics-free future

[www.ipen.org](http://www.ipen.org)