



# **Nanotechnologies et enjeux dans les secteurs de l'eau et de l'énergie des pays en développement**

**Nanotechnologies et pays en développement - Une  
étude pour l'Agence française de développement**

**Rapport n°2**

*Dorothee Benoit Browayes et Mathilde Colin Detcheverry (VIVAGORA)*

*Avec la collaboration de Marie-Christine Lebret (Gret)*

Dans le cadre de l'étude sur les risques et opportunités des nanotechnologies pour les pays en développement confiée par l'Agence française de développement aux associations Gret et Vivagora, cinq rapports ont été élaborés :

- Rapport n°1 : Etat des lieux du secteur des nanotechnologies
- **Rapport n°2 : Nanotechnologies et enjeux dans les secteurs de l'eau et de l'énergie des pays en développement**
- Rapport n°3 : Risques et opportunités trans-sectoriels des nanotechnologies pour les pays en développement
- Rapport n°4 : Veille technologique : une brève revue de pratiques des agences d'aide
- Rapport n°5 : Nanotechnologies et pays en développement : Recommandations à l'AFD



Campus du Jardin tropical

45 bis avenue de la Belle Gabrielle  
94736 Nogent-sur-Marne Cedex, France

Tél. : 33 (0)1 70 91 92 00

Fax : 33 (0)1 70 91 92 01

[gret@gret.org](mailto:gret@gret.org) - <http://www.gret.org>

*Les opinions exprimées dans ce rapport sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement celles de l'Agence française de développement.*

**Remerciements :** Les auteurs remercient Serge Allou et Yves Le Bars du Gret et Frédéric Bontems et Françoise Tisseyre du département du Pilotage stratégique et de la prospective de l'AFD, pour leur appui et leurs commentaires dans la relecture des rapports.



# Sommaire

INTRODUCTION .....	1
I. RISQUES ET OPPORTUNITES DES INNOVATIONS NANOTECHNOLOGIQUES DANS LE SECTEUR DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT .....	4
1. Contexte et enjeux .....	4
2. Opportunités .....	5
3. Stades de développement et principaux acteurs des recherches et applications nanos dans le domaine de l'eau .....	8
4. Risques .....	16
5. Conclusion .....	19
II. LES NANOTECHNOLOGIES FACE AU DEFI CAPITAL POUR L'AUTONOMIE DES PED : L'ENERGIE .....	21
1. Opportunités : Les nanotechnologies pour capter, conserver, économiser l'énergie .....	21
2. Exemples d'acteurs .....	25
3. Des risques environnementaux et sanitaires non négligeables .....	27
4. Conclusion .....	27

## Introduction

En 2005, un groupe de professionnels du Centre conjoint pour la bioéthique de l'université de Toronto (Canada) et du programme canadien sur la Génomique et la santé mondiale publie une étude identifiant et classant les dix nanotechnologies les plus aptes à servir au monde en développement dans un futur proche. En tête de liste, figurent les applications nanotechnologiques liées à la conversion, la production et le stockage de l'énergie ; le renforcement de la productivité agricole ; le traitement de l'eau et la dépollution ; le diagnostic et le traitement de maladies.

L'étude s'est basée sur un panel de 65 experts en nanotechnologies et sur les critères d'évaluations suivants :

- l'impact sur l'eau, l'agriculture, la nutrition la santé, l'énergie et l'environnement des PED,
- l'adéquation aux besoins les plus pressants,
- l'appropriation par les PED,
- la faisabilité,
- l'acquisition de connaissances,
- les bénéfices indirects (renforcement de capacités et génération de revenus).

Les résultats ont permis de mettre en valeur les corrélations suivantes entre nanotechnologies et sept parmi les huit Objectifs du millénaire pour le développement (OMD, numérotés ici de 1 à 8) : (1) réduire l'extrême pauvreté et la faim ; (2) : assurer l'éducation primaire pour tous ; (3) promouvoir l'égalité des genres et l'autonomisation des femmes ; (4) réduire la mortalité infantile ; (5) améliorer la santé maternelle ; (6) combattre le VIH/SIDA, la malaria et les autres maladies ; (7) assurer un environnement humain durable ; (8) construire un partenariat mondial pour le développement.

Applications des nanotechnologies	Exemples	OMD atteints
Stockage, production et conversion d'énergie	Systèmes innovants de stockage de l'hydrogène fonctionnant grâce à des nanotubes de carbone et autres nanomatériaux légers Cellules photovoltaïques et dispositifs d'éclairage organiques utilisant les « quantum dots » Nanotubes de carbone dans les revêtements composites des piles solaires Nanocatalyseurs pour la production d'hydrogène Membranes biomimétiques hybrides protéine/polymère	7
Amélioration de la productivité agricole	Zéolites nanoporeuses pour la libération retardée et le dosage efficace de l'eau et des engrais pour les plantes, et des nutriments et médicaments pour le bétail Nanocapsules pour la diffusion d'herbicides Nanocapteurs pour la surveillance de la qualité du sol et de la santé des végétaux Nano-aimants pour la décontamination du sol	1, 4, 5,7
Traitement et assainissement de	Nanomembranes pour la purification, le dessalement et la	1, 4, 5,7

l'eau	désinfection de l'eau Nanocapteurs pour la détection d'agents contaminants et pathogènes Zéolites nanoporeuses, polymères nanoporeux et argiles attapulgites pour la purification de l'eau Nanoparticules magnétiques pour le traitement et l'assainissement de l'eau Nanoparticules de TiO <sub>2</sub> pour la dégradation catalytique des polluants de l'eau	
Diagnostic et dépistage des maladies	Systèmes microgoutte de l'ordre du nanolitre (laboratoires sur puce) Séries de nanocapteurs fabriquées à partir de nanotubes de carbone « Quantum dots » pour le diagnostic de maladies Nanoparticules magnétiques utilisées comme nanocapteurs Conjugués anticorps/dendrimère pour le diagnostic du VIH-1 et du cancer Nanocapteurs sous forme de nanofils et nanocourroies pour le diagnostic de maladies Nanoparticules utilisées comme rehausseur d'image en imagerie médicale	4, 5, 6
Systèmes d'administration de médicaments	Nanocapsules, liposomes, dendrimères, nanobioaimants et argiles à attapulgite pour systèmes d'administration lente et continue de médicaments	4, 5, 6
Transformation et stockage des produits alimentaires	Nanocomposites pour la mise sous film plastique dans l'industrie alimentaire Nano-émulsions antimicrobiennes appliquées à la décontamination de matériel agroalimentaire d'emballages ou d'aliments Biocapteurs nanotechnologiques détecteurs d'antigènes pour la mise en évidence des contaminations pathogènes	1, 4, 5
Lutte contre la pollution atmosphérique et assainissement de l'air	Dégradation photocatalytique des polluants atmosphériques par l'utilisation de nanoparticules de TiO <sub>2</sub> dans les systèmes autonettoyants Nanocatalyseurs pour rendre les pots catalytiques plus efficaces, plus économiques et mieux contrôlables Nanocapteurs pour la détection de substances toxiques et de fuites Nanodispositifs de séparation des gaz	4, 5, 7
Construction	Structures nano moléculaires permettant de rendre l'asphalte et le béton plus résistants aux suintements d'eau Nanomatériaux thermorésistants pour arrêter les ultraviolets et le rayonnement infrarouge Nanomatériaux pour rendre les logements, surfaces, revêtements, colles et bétons plus économiques et durables, et pour protéger de la chaleur et de la lumière Surfaces autonettoyantes (par exemple vitres, miroirs, toilettes) dotées de revêtements bioactifs	7
Surveillance médicale	Nanotubes et nanoparticules pour équiper les capteurs de glucose, de CO <sub>2</sub> et de cholestérol et permettre la surveillance de l'homéostasie in situ	4, 5, 6
Repérage et destruction des	Nanocapteurs pour la détection des parasites	4, 5, 6

vecteurs biologiques et des parasites	Nanoparticules entrant dans la composition de nouveaux pesticides, insecticides et insectifuges	
---------------------------------------	---	--

*Adapté de : Salamanca-Buentello F, Persad DL, Court EB, Martin DK, Daar AS, et al. 2005*

Cinq ans plus tard, les critères de veille et la hiérarchie posée n'ont pas fondamentalement changés. Pour identifier plus concrètement et précisément certains apports des nanotechnologies à des secteurs d'intérêt pour l'AFD, l'étude va s'attacher dans les parties suivantes à l'observation des applications dans deux secteurs d'intérêt pour l'AFD : l'eau et l'énergie.



## **I. RISQUES ET OPPORTUNITES DES INNOVATIONS NANOTECHNOLOGIQUES DANS LE SECTEUR DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT**

---

### **1. Contexte et enjeux**

#### **1.1 L'accès à l'eau potable, objectif majeur du Millénaire pour le développement**

Les Nations Unies ont inscrit parmi les Objectifs du Millénaire pour le développement la réduction de moitié de la proportion de personnes dépourvues d'accès à l'eau potable d'ici 2015<sup>1</sup>.

L'accès à l'eau potable est l'un des besoins les plus pressants dans de nombreux PED : au moins 1,1 milliard de personnes en est privé, générant plusieurs millions de décès par an, surtout parmi les enfants des pays pauvres d'Asie et d'Afrique<sup>2</sup>. 98 % des décès dus aux maladies hydriques auraient lieu dans le monde en développement<sup>3</sup>.

Le récent rapport du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE)<sup>4</sup>, dresse un bilan très inquiétant sur l'avenir des ressources en eau, en Afrique notamment. Ainsi que le soulignent certains experts<sup>5</sup>, les zones rurales deviennent inhabitables à cause des événements qui accompagnent les changements climatiques comme les inondations ou les sécheresses qui causent notamment des pertes de bétail, une insécurité alimentaire et une baisse du niveau des eaux des lacs.

Le développement de méthodes et d'installations de purification de l'eau représente donc un enjeu majeur pour ces pays qui connaissent souvent des difficultés en termes d'infrastructures de distribution et de traitement des eaux.

#### **1.2 Les nanotechnologies, solutions aux problèmes de l'eau dans les PED ?**

Quelle réponse les nanotechnologies peuvent-elles apporter aux problèmes de l'eau dans les PED ?

---

<sup>1</sup> [http://www.unesco.org/water/wwap/facts\\_figures/mdgs.shtml#goal7](http://www.unesco.org/water/wwap/facts_figures/mdgs.shtml#goal7)

<sup>2</sup> Organisation Mondiale de la Santé (OMS – WHO). (2005). Water, sanitation and hygiene links to health: Facts and figures. [http://www.who.int/entity/water\\_sanitation\\_health/factsfigures2005.pdf](http://www.who.int/entity/water_sanitation_health/factsfigures2005.pdf)

<sup>3</sup> Prüss-Üstün A, Bos R, Gore F, Bartram J. (2008). Safer water, better health: costs, benefits and sustainability of interventions to protect and promote health. Organisation Mondiale de la Santé, Genève. [http://whqlibdoc.who.int/publications/2008/9789241596435\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2008/9789241596435_eng.pdf)

<sup>4</sup> Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) (2009). Menaces sur les Ressources en Eau douce, Evaluation de la vulnérabilité des Ressources en Eau douce à l'Evolution de l'Environnement, Afrique [http://www.unep.org/dewa/assessments/EcoSystems/water/Freshwater%20Under%20Threat%20Africa%20Pub\\_7\\_2dpi.pdf](http://www.unep.org/dewa/assessments/EcoSystems/water/Freshwater%20Under%20Threat%20Africa%20Pub_7_2dpi.pdf)

<sup>5</sup> Ochieng' Ogodu. (Novembre 2009). L'Afrique doit agir et s'attaquer à la crise de l'eau : <http://www.scidev.net/fr/agriculture-and-environment/water/news/l-afrique-doit-agir-et-s-attaquer-la-crise-de-l-eau.html>

L'équipe du Centre de bioéthique de l'université de Toronto<sup>6</sup> a classé le traitement de l'eau en 3<sup>ème</sup> position des applications des nanotechnologies les plus profitables au développement des PED en cohérence avec les OMD – juste derrière la production, le stockage et la conversion d'énergie, et l'amélioration de la productivité agricole.

La suite de ce document présente un bref tour d'horizon des connaissances, en ce début 2010, sur les applications, réelles ou potentielles, des nanotechnologies qui pourraient potentiellement aider à assainir ou désaliniser l'eau dans les pays en voie de développement, ainsi que des risques associés.

## 2. Opportunités

Pour de nombreux chercheurs et ingénieurs, les nanotechnologies pourraient aider à développer des dispositifs moins coûteux, plus efficaces, rapides, performants et durables pour le traitement de l'eau dans les PED. La valeur ajoutée des nanotechnologies tenant à la petite taille des dispositifs (qui les rendent donc plus indépendants des infrastructures, et plus faciles à distribuer et à utiliser) ainsi qu'aux propriétés inédites que les matériaux manifestent à cette échelle.

Schématiquement, deux champs d'application majeurs peuvent être distingués :

### 2.1 Détecter les contaminants de l'eau

Les nanotechnologies permettent notamment de créer de petits détecteurs (senseurs) portatifs et de haute précision, qui peuvent repérer des substances chimiques et biochimiques dans l'eau<sup>7</sup>. De tels instruments font l'objet de tests, notamment :

- Le projet «*Biosensors for detection of pesticides and herbicides in water and food using nanoparticles as tracers*»<sup>8</sup>, dans le cadre de Nano2Life, réseau d'excellence européen reconnu par la Commission Européenne dans le 6<sup>ème</sup> Programme Cadre de Recherche et Développement. Ce projet vise à exploiter des nanotechnologies pour le développement de méthodes simples, peu coûteuses, rapides et spécifiques des différents pesticides.
- Une équipe de l'Université de Pennsylvanie aux Etats-Unis a développé une technique de détection de l'arsenic dans l'eau ayant recours aux nanofibres sur une puce en silicium<sup>9</sup>.
- Un capteur en papier qui détecte les toxines de l'eau à l'aide de nanotubes de carbone, mis au point par un partenariat de recherche<sup>10</sup> sino-américain.

---

<sup>6</sup> Salamanca-Buentello F, Persad DL, Court EB, Martin DK, Daar AS, et al. (2005) Nanotechnology and the Developing World. PLoS Med 2(5):100-103 <http://medicine.plosjournals.org/perlserv?request=get-document&doi=10.1371/journal.pmed.0020097>

<sup>7</sup> Hillie, T., Munasinghe, M., Hlope, M. and Y. Deraniyagala (2006). Nanotechnology, water and development. Meridian Institute <http://www.merid.org/nano/waterpaper/NanoWaterPaperFinal.pdf>

<sup>8</sup> [http://www.nano2life.org/download/e\\_catalogue\\_2007\\_06\\_01.pdf](http://www.nano2life.org/download/e_catalogue_2007_06_01.pdf)

<sup>9</sup> Patel, P. (2009). Nanosensors made easy. Technology Review <http://www.technologyreview.com/computing/21974/?a=f>

## 2.2 Purifier l'eau

En matière de purification de l'eau, les nanotechnologies pourraient aussi bien aider, notamment, à désaliniser l'eau, filtrer les polluants, réduire le calcaire ou traiter les eaux usées. Les nanotechnologies peuvent en effet avoir plusieurs fonctions – sachant que les procédés utilisés ou envisagés peuvent combiner ces différents types d'action :

- la filtration d'éléments indésirables (polluants, microbes, sel),
- la dissolution chimique des polluants par oxydation grâce à l'utilisation de nanoparticules réactives (titane, oxyde de fer par exemple),
- l'extraction des polluants par aimantation,
- la désinfection, destruction des bactéries, par l'utilisation de nanoargent.

La liste n'est pas exhaustive, et le développement qui suit se limite à une présentation très synthétique et nécessairement simplifiée des différents mécanismes à l'étude ou déjà développés voire commercialisés. Pour une approche plus approfondie et technique, il est souhaitable de consulter :

- les documents listés en bibliographie, notamment l'ouvrage de Nora Savage, et al. *Nanotechnology Applications for Clean Water*, le rapport de l'Afssa<sup>11</sup>, le rapport du Meridian Institute « *Overview and Comparison of Conventional Water Treatment Technologies and Nano-Based Treatment Technologies* », les actes de la conférence de l'OCDE qui s'est tenue en juillet 2009 « *Potential Environmental Benefits of Nanotechnology: Fostering Safe Innovation-Led Growth* ».
- ainsi que les sites internet et documents institutionnels des laboratoires et entreprises impliqués dans ces projets, notamment ceux listés dans la partie 3 « Stades de développement et principaux acteurs des recherches et applications nanos dans le domaine de l'eau ».

### ■ Filtration des polluants / Désalinisation

Grâce aux nanotechnologies, des chercheurs développent de nouvelles catégories de filtres plus efficaces que les filtres conventionnels, qui permettent de mieux retenir le sel<sup>12</sup>, ou les microbes et autres polluants de l'eau.

Ces filtres peuvent être constitués notamment :

- **de nanotubes de carbone**, pour extraire les virus et les bactéries de l'eau. Deux exemples : en Inde<sup>13</sup>, ou en Afrique<sup>14</sup>, avec dans les deux cas, des partenariats avec des laboratoires américains.

---

<sup>10</sup> Wagdy Sawahel (2010). Cheap paper nano-sensor detects water toxins. SciDev.net <http://www.scidev.net/fr/agriculture-and-environment/water/news/un-nanocapteur-en-papier-peu-on-reux-qui-d-tecte-les-toxines-de-l-eau.html>

<sup>11</sup> L'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa) a fusionné en juillet 2010 avec l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail pour former l'Agence nationale chargée de la sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.

<sup>12</sup> Bissonnette, A. (2008). Utilisation de nanomembranes pour le dessalement de l'eau et comparaison avec l'osmose inverse et la distillation. Essai présenté au Centre Universitaire de Formation en Environnement de l'Université de Sherbrooke, Québec, Canada, en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env.) <http://www.docstoc.com/docs/20401178/UTILISATION-DE-NANOMEMBRANES-POUR-LE-DESSALEMENT-DE-LEAU-ET>

- **de membranes nanostructurées** qui agissent comme une barrière physique retenant tout microorganisme ou particule d'une taille supérieure à ses pores, et rejetant certaines substances de manière sélective. Une étude menée à Madibogo, village situé dans une région reculée et aride en Afrique du Sud, a par exemple montré que les membranes de nanofiltration peuvent produire de l'eau potable à partir de l'eau saumâtre<sup>15</sup>.
- **de l'argile attapulgite et de zéolites naturelles**, disponibles dans de nombreuses régions du monde et présentant des pores naturels de taille nanoscopique. Des membranes en argile attapulgite ont ainsi permis la filtration des eaux usées d'une usine laitière en Algérie<sup>16</sup>.
- de **nanoéponges**, testées notamment en Afrique du sud<sup>17</sup> pour piéger des contaminants.

#### ■ Dissolution chimique des polluants

Les nanocatalyseurs, permettent quant à eux, non pas de filtrer directement les polluants, mais de les décomposer chimiquement. L'un de leurs avantages est qu'ils peuvent s'appliquer à des polluants pour lesquels les technologies existantes sont inefficaces ou actuellement très chères.

Les **nanoparticules d'oxyde de titane** sont par exemple des catalyseurs plus efficaces que l'oxyde de titane à l'échelle macroscopique et servent à détruire les contaminants par photocatalyse sous l'effet de rayons UV. Des nanoparticules d'oxyde de titane placées au sein d'un réacteur membranaire de photocatalyse ont ainsi été étudiées pour l'élimination d'acide fulvique d'eaux superficielles par une équipe chinoise<sup>18</sup>.

#### ■ Extraction des polluants par aimantation

Les nanoparticules magnétiques ont une grande surface par rapport à leur volume et peuvent ainsi facilement former des liaisons chimiques avec des contaminants véhiculés par l'eau – tels que l'arsenic, le mercure, le plomb, le pétrole – et être ensuite extraits à l'aide d'un aimant.

Des applications seraient déjà commercialisées, et les recherches sont nombreuses dans ce domaine. Des chercheurs de la Rice University aux Etats-Unis utilisent des **nanoparticules de rouille (dioxyde de fer)** pour extraire l'arsenic de l'eau<sup>19</sup>. La large surface de la 'nanorouille' lui permet de capter cent fois plus d'arsenic que des matières non nanostructurées (200 à 500 milligrammes de nanorouille pourraient traiter un litre d'eau). Les chercheurs travaillent ac-

<sup>13</sup> <http://news.rpi.edu/update.do?artcenterkey=435>

<sup>14</sup> <http://www.timesargus.com/apps/pbcs.dll/article?AID=/20071211/OPINION04/712110354/1024/OPINION04>

<sup>15</sup> Hillie, T. and Hlophe, M. (Novembre 2007). Nanotechnology and the challenge of clean water. *Nature Nanotechnology* 2, 663 – 664. <http://www.nature.com/nnano/journal/v2/n11/full/nnano.2007.350.html>

<sup>16</sup> Khider, K., Akretche, D.E. and Larbot, A. Purification of water effluent from a milk factory by ultrafiltration using Algerian clay support. *Desalination* 167 (2004)

<sup>17</sup> <http://www.scidev.net/fr/new-technologies/nanotechnology-for-clean-water/features/les-nano-ponges-et-l-eau-propre-les-grands-espoirs.html>

<sup>18</sup> FU, J. and JI, M. (2005) Fulvic acid degradation using nanoparticle TiO<sub>2</sub> in a submerged membrane photocatalysis reactor. *Journal of Environmental Sciences*, 17, pp. 942-945.

<sup>19</sup> Yavuz, C.T., Mayo, J.T., Yu, W.W. et al. (2006). Low-field magnetic separation of monodisperse Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanocrystals. *Science* 10

tuellement au développement d'une méthode de fabrication de la nanorouille à partir d'articles domestiques usuels, ce qui réduirait substantiellement les coûts de production, et en ferait un produit facilement exploitable pour les populations des PED.

### ■ Destruction des bactéries

Des nanoparticules de métal sont également utilisées pour leurs propriétés antibactériennes. C'est le cas des **nanoparticules d'argent**.

Vinka Craver, professeur adjoint en génie civil et environnemental à l'Université de Rhode Island, en collaboration avec l'ONG *Potters for Peace* (Potiers pour la paix) et l'Université de Virginie a ainsi mis au point des filtres à eau fabriqués avec un mélange d'argile et la sciure de bois locaux imprégnés de nanoargent, distribués depuis 1998. Selon leurs recherches, les filtres en céramique, sans l'ajout des nanoparticules d'argent, ont pour effet de retirer 97 % des bactéries de l'eau, et les filtres avec le nanoargent plus de 99 % des bactéries. L'argent tue les bactéries alors que l'argile poreuse ne fait que les filtrer<sup>20</sup>.

Un robinet avec revêtement de nanoparticules d'argent, sensé permettre une désinfection de l'eau, a été repéré sur le marché en Chine par le *think tank* américain *Project on Emerging Nanotechnologies* (PEN)<sup>21</sup>.

Autre exemple, celui d'Eureka Forbes Limited qui s'est associé à l'*Indian Institute of Technology* (IIT) de Chennai pour développer des nanofiltres<sup>22</sup> destinés à un usage domestique utilisant des nanoparticules d'argent pour éliminer trois pesticides très répandus dans l'eau en Inde. Ce filtre pourrait fournir au ménage indien moyen 6000 litres d'eau potable en un an.

## 3. Stades de développement et principaux acteurs des recherches et applications nanos dans le domaine de l'eau

### 3.1 Stades de développement

Si certaines de ces applications ont déjà été mises sur le marché, d'autres n'en sont qu'au stade du développement. En fait, la grande majorité des applications envisagées ne sont pour l'instant que des « promesses », et les recherches sont en cours. La prudence est donc de mise pour évoquer ces perspectives tant qu'elles ne sont pas assurées de voir réellement le jour.

Il est souvent difficile de distinguer ce qui relève de l'effet d'annonce ou du marketing, de la réalité des avancées techniques – et ce d'autant plus, qu'évidemment, les choses évoluent très vite, dans un contexte d'intense activité scientifique et de compétition économique.

Il est néanmoins possible de distinguer différents états d'avancement de la R&D nano dans le traitement de l'eau : selon Hillie<sup>23</sup>, les applications de nanofiltration seraient les plus avancées

---

<sup>20</sup> [http://www.eurekaalert.org/pub\\_releases/2009-03/uori-ehp031609.php](http://www.eurekaalert.org/pub_releases/2009-03/uori-ehp031609.php)

<sup>21</sup> [http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/browse/products/antibacterial\\_water\\_tap/](http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/browse/products/antibacterial_water_tap/)

<sup>22</sup> (20 Avril 2007) Nanotechnology pesticide filter debuts in India. *Nanowerk*  
<http://www.nanowerk.com/news/newsid=1806.php>

<sup>23</sup> Hillie, T., Munasinghe, M., Hlope, M. and Y. Deraniyagala (2006). Nanotechnology, water and development. Meridian Institute <http://www.merid.org/nano/waterpaper/NanoWaterPaperFinal.pdf>

(ce que confirme Grimshaw<sup>24</sup>, selon lequel les nanomembranes sont par exemple déjà largement utilisées). Le même rapport souligne que les dispositifs actuels de nanofiltration, relativement simples, devraient se complexifier grâce à la fabrication de procédés plus sophistiqués utilisant les propriétés de différents nanomatériaux.

Par contre, en matière de traitement de l'eau, les travaux sont moins avancés. L'état des lieux des connaissances disponibles et des projets de recherche dans ce domaine réalisé par l'Afssa<sup>25</sup> montrait qu'en février 2008, les applications étaient encore majoritairement au stade de la recherche : le nombre de procédés de traitement de l'eau mis sur le marché, utilisant des nanoparticules ou nanomatériaux, était très limité. Aucun procédé utilisant des nanoparticules n'avait alors été mis sur le marché français.

### 3.2 Principaux acteurs

La partie qui suit donne quelques indications sur les principaux acteurs des nanos dans le domaine du traitement de l'eau et a pour objectif de fournir des illustrations aux applications et recherches listées précédemment. Il ne s'agit en aucun cas d'un recensement exhaustif des acteurs.

#### ■ Acteurs industriels

Comme cela a été souligné précédemment, c'est avec prudence que doivent être considérées les informations relatives à la commercialisation de procédés nanotechnologiques dans le domaine du traitement de l'eau. Sur la base principalement, des travaux de repérage menés par le *think tank* américain *Project on Emerging Nanotechnologies (PEN)*<sup>26</sup>, le *Meridian Institute* en 2006<sup>27</sup>, l'Afssa en 2008, Grimshaw en 2009, moins d'une dizaine de sociétés prestataires potentielles ont été répertoriées :

#### Aux Etats-Unis :

- [Inframat Corporation](#) a développé une nano-structure dont l'aspect ressemble à un nid d'oiseau (10 nm de diamètre), à partir de fibres d'oxyde de manganèse. Cette structure permet d'obtenir des nano-pores. Ce procédé d'oxydation par l'oxyde de titane est en développement avec l'armée de l'air américaine pour le traitement de l'arsenic de l'eau, en combinaison avec un procédé d'adsorption sur hydroxyde de fer
- La société [Seldon](#) a développé un système de purification de l'eau vis-à-vis de certains pathogènes et présenté comme système « portable » de traitement de l'eau utilisant les nanotechnologies, développées pour l'*US Air Force*. Le site du producteur indique un abattement de 6 log pour les bactéries, 4 log pour les parasites et virus. Il est indiqué que les analyses ont été réalisées par le laboratoire habilité par l'EPA pour la certification des technologies de traitement de l'eau, situé au sein de l'université du New

<sup>24</sup> Grimshaw, David. (6 mai 2009). Les nanotechnologies d'épuration de l'eau : Faits et chiffres. SciDev.Net <http://www.scidev.net/fr/new-technologies/nanotechnology-for-clean-water/features/les-nanotechnologies-d-purification-de-l-eau-faits-et-.html>

<sup>25</sup> Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa) (Février 2008). Les nanoparticules manufacturées dans l'eau. <http://www.afssa.fr/Documents/EAUX-Ra-Nanoparticules.pdf>

<sup>26</sup> [http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/browse/products/antibacterial\\_water\\_tap/](http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/browse/products/antibacterial_water_tap/)

<sup>27</sup> Meridian Institute (2006). Overview and Comparison of Conventional Water Treatment Technologies and Nano-Based Treatment Technologies' <http://www.merid.org/nano/waterworkshop/assets/watertechpaper.pdf>

Hampshire. La société revendique également pour ce procédé une efficacité vis-à-vis de l'arsenic

- La société [Lifesaver Systems](#), a créé un système portatif de filtration de l'eau qui éliminerait bactéries, virus, des parasites, et autres agents pathogènes microbiologiques d'origine hydriques. Destinés aux soldats sur le champ de bataille, il fonctionne grâce à un système de filtration par membrane, constituée de pores de 15 nanomètres de diamètre.
- La société [KX Technologies](#) aurait mis au point un système de filtration utilisant une couche de nanofibres<sup>28</sup> constituée de polymères, de résines, de céramique et d'autres matériaux, qui extrait les contaminants.
- [NanoH2O](#) commercialise une membrane de dessalement<sup>29</sup> constituée d'une combinaison de polymères et de nanoparticules qui absorbe les ions d'eau et repousse les sels en solution (ce qui consomme moins d'énergie que l'osmose inverse).

**En France**, Veolia vient de signer un partenariat<sup>30</sup> de 5 ans avec la société californienne NanoH2O pour mettre au point un procédé de la désalinisation de l'eau impliquant des nanotechnologies.

#### En Chine

- Une société de Hong Kong [EnvironmentalCare](#) a développé un filtre NanoFOTOCIDE™ *Photocatalytic Oxidation*, constitué d'une spirale d'acier inoxydable recouverte de nanoparticules d'oxyde de titane ; des propriétés désinfectantes de l'air et de l'eau sont revendiquées, ainsi que l'oxydation de polluants.
- La société [Nano Care Technology, Ltd.](#) a mis en vente un robinet avec revêtement de nanoparticules d'argent, sensé permettre une désinfection de l'eau
- [Galaxia Nanotechnology Limited TM](#) propose à la vente un système de traitement [Nano Oxygen supply wateractivater](#), destiné à être installé à domicile

**En Corée du Sud**, [Saehan Industries](#), a mis au point une membrane de nanofiltration. Testée sur le terrain pour le traitement de l'eau potable en Chine et le dessalement de l'eau en Iran. Cette membrane - constituée de polymères avec des pores d'une taille variant entre 0,1 et 1 nm - aurait l'avantage de nécessiter moins d'énergie que l'osmose inverse.

#### En Inde

- [Eureka Forbes Limited](#) s'est associé à l'IIT de Chennai pour développer des nanofiltres<sup>31</sup> destinés à un usage domestique utilisant des nanoparticules d'argent pour éliminer trois pesticides très répandus dans l'eau en Inde. Ce filtre pourrait fournir au ménage indien moyen 6000 litres d'eau potable en un an.

---

<sup>28</sup> <http://www.oti.com/oti/patent/20071120-7296691-US-B2>

<sup>29</sup> <http://www.nanoh2o.com/Technology.php5> et Abraham, M. (2006). Today's seawater is tomorrow's drinking water: UCLA engineers develop revolutionary nanotech water desalination membrane. UCLA Newsroom

<sup>30</sup> <http://www.nanoh2o.com/newsDetail.php5?newsID=68>

<sup>31</sup> (20 Avril 2007) Nanotechnology pesticide filter debuts in India. *Nanowerk* <http://www.nanowerk.com/news/newsid=1806.php>

### Au Moyen Orient

- **En Egypte**, [Sabrycorp Ltd.](#) cabinet égyptien de consulting en nanotechnologies qui travaille avec l'Institut de Recherche sur le Désert et les ministères de l'agriculture et de la recherche pour la commercialisation de systèmes de nanofiltration innovants.

### En Afrique

- **En Afrique du Sud**, les chercheurs du Centre d'Innovation en Nanotechnologie du Mintek collaborent avec des partenaires industriels pour explorer la contribution possible des nanotechnologies dans la détection et la destruction des polluants industriels de l'eau<sup>32</sup>.

Cette liste n'est qu'une photographie incomplète des acteurs industriels dans le domaine des nanotechnologies appliquées au traitement de l'eau ; une investigation plus poussée serait nécessaire pour actualiser et compléter cette liste.

### ■ Acteurs académiques

Comme la partie précédente, la liste qui suit concernant les principaux acteurs académiques ne présente qu'un échantillon des institutions de recherche académiques les plus importantes et ne constitue pas un recensement exhaustif.

### Aux Etats-Unis

- **Le [CBEN](#)** (*Center for biological and environmental nanotechnology*), rattaché à la Rice University, coordonne et soutient des projets de recherche internationaux dans le domaine des nanotechnologies appliquées à la médecine et à l'environnement. L'un des trois grands thèmes de recherche identifiés porte sur des systèmes de traitement de l'eau haute performance et à moindre coût. Les développements poursuivis par ce centre comportent notamment :
  - o La création de membranes d'alumoxane® et de ferroxane® permettant le traitement d'eaux usées.
  - o Le développement de nanocatalyseurs (titane) fixés sur des membranes permettant le traitement de trichloréthylène, tétrachloréthylène ou pesticides. Etude des fullerènes (C60) et des agrégats de titane également pour leurs propriétés de photocatalyse, pour le traitement d'eaux brutes potentiellement destinées à la consommation humaine.
  - o L'élimination de l'arsenic par des nanocristaux de magnétite, pour le traitement d'eaux brutes potentiellement destinées à la consommation humaine.
- **Le [I-CENTR](#)** (*International Consortium for Environment & Nanotechnology Research*) comprend une trentaine de chercheurs engagés dans le développement de technologies basées sur des nanomatériaux destinées à protéger la santé humaine et l'environnement, et dans l'étude du comportement des nanomatériaux dans l'environnement. L'équipe du I-CENTR a été constituée avec l'aide de l'Office scientifique et technologique de l'ambassade de France, et les chercheurs de *Rice Universi-*

---

<sup>32</sup> <http://www.scidev.net/fr/new-technologies/nanotechnology-for-clean-water/features/les-nano-ponges-et-l-eau-propre-les-grands-espoirs.html>



ty collaborent au sein du centre avec de nombreuses unités de recherche européennes, notamment le Cerege en France.

**Au niveau européen**, le cluster [Nano4water](#) regroupe des projets de recherche financés par la Commission européenne, suite à l'appel à projet du 7<sup>ème</sup> Programme Cadre des Nanotechnologies pour le traitement de l'eau (FP7-ENV-NMP-2008-2).

L'objectif est de soutenir la recherche et le développement technologique dans le traitement de l'eau en utilisant des nanomatériaux avec des technologies prometteuses en matière de séparation, purification et détoxification. Six projets ont été approuvés autour de cette thématique :

1. [Clean Water](#)
2. [Monacat](#)
3. [Nametech](#)
4. [New ed](#)
5. [Watermim](#)
6. [Membraq](#)

**Au niveau français**, il y a encore peu de laboratoires sur ces sujets dans le domaine des applications :

- l'équipe [SE3D](#) (Sol, Eau, Déchets, Biogéochimie et Développement Durable) du CEREGE à Aix-en-Provence.
- l'IMPMC Institut de Minéralogie et de Physique des Milieux Condensés de Paris qui travaille sur des nanominéraux de Fer pour la réduction des nitrates dans les zones humides.
- l'Institut Européen des membranes à Montpellier.
- Le laboratoire Environnement et Minéralurgie de l'ENSG-INPL de Nancy

Plusieurs outils permettront de compléter ce tableau du paysage académique français en matière d'applications nano dans le domaine de l'eau :

- le portail [Nanosciences & nanotechnologies](#) mis en place par le ministère en charge de la recherche qui décrit les actions et projets en cours et présente les moyens mis en place en France dans ces domaines.
- la base de données des acteurs des Nanomatériaux en France <http://www.nanomateriaux.org/>

Pour les implications environnementales le site <http://www.i-ceint.org> recense les laboratoires partenaires de l'initiative travaillant sur l'écotoxicité des nanomatériaux vis à vis d'organismes aquatiques (LIEBE à Metz, ECOLAB à Toulouse, IMEP à Aix-Marseille).

**En Israël**, une coordination entre l'INNI (*Israel national nanotechnology initiative*) et le US-NNI (*United states national nanotechnology initiative*) a abouti en juillet 2006 à la sélection de 4 projets de recherche destinés à la purification de l'eau<sup>33</sup> :

1. le développement de membranes d'ultrafiltration basées sur des polymères disposant d'un revêtement qui permet de réduire l'encrassement et de pratiquer un « autonettoyage ». Ces membranes doivent également permettre d'améliorer les capacités de traitement (des flux plus importants et une résistance plus élevée) ;

---

<sup>33</sup> <http://www.nanoisrael.org/download/nanowater1/US-IL%20NanoWater%20Workshop%20Press%20Release%20JUL-06.pdf>

2. le développement de revêtements antimicrobiens destinés aux membranes afin de limiter la formation de biofilms ;
3. l'étude de matériaux constitués d'oxydes métalliques nanostructurés pour la destruction de biotoxines dans les eaux de surface ou les eaux souterraines, en utilisant la photocatalyse et l'oxydation ;
4. le développement de biocapteurs permettant de détecter en temps réel les signaux biochimiques émis par les cellules lors de leur attachement sur une surface et ainsi de limiter la formation de biofilms à la surface des membranes de filtration.

**En Inde**, on peut citer, entre autres, l'*Indian Institute of Technology Madras* et sa [Nano Mission](#) du *Department of Science and Technology*, l'IIT de Chennai<sup>34</sup>, l'Institut indien de Science de Bangalore<sup>35</sup>, ou encore le [Banaras Hindu University](#) (en partenariat avec le laboratoire américain du *Rensselaer Polytechnic Institute*)<sup>36</sup>.

**En Afrique du Sud**, les chercheurs du Centre d'Innovation en Nanotechnologie du Mintek collaborent avec des partenaires industriels pour explorer la contribution possible des nanotechnologies dans la détection et la destruction des polluants de l'eau.

#### ■ Zoom sur les acteurs du sud, les partenariats sud-sud, et nord-sud

Ainsi que l'indiquent les tours d'horizon précédents, les recherches et mises sur le marché de procédés ou dispositifs de traitement de l'eau ne sont pas du seul apanage des pays dits développés.

Ainsi en Tunisie, un projet visant à surveiller et à purifier les eaux de la Medjerda, le plus long fleuve de la Tunisie, a récemment obtenu le soutien du gouvernement tunisien, avec un appui financier en provenance du gouvernement belge<sup>37</sup>.

Le Brésil, la Chine, l'Inde, l'Arabie saoudite et l'Afrique du sud sont déjà bien impliqués dans les recherches sur les nanotechnologies appliquées au traitement de l'eau.

---

<sup>34</sup> (20 Avril 2007) Nanotechnology pesticide filter debuts in India. *Nanowerk*  
<http://www.nanowerk.com/news/newsid=1806.php>

<sup>35</sup> <http://www.scidev.net/en/new-technologies/nanotechnology-for-clean-water/opinions/nanoscale-water-treatment-needs-innovative-engineer.html>

<sup>36</sup> David Cotriss, "Nanofilters," *Technology Review*, novembre 2004

<sup>37</sup> Hichem Boumedjout (2010). Tunisia launches first nanotech project. *SciDev.net*. <http://scidev.net/fr/new-technologies/nanotechnology/news/la-tunisie-lance-son-premier-projet-dans-le-domaine-des-nanotechnologies.html>



### L'initiative IBSA entre le Brésil, l'Afrique du Sud et l'Inde

L'initiative IBSA est un projet de recherche et de développement impliquant des facultés des sciences et technologies de l'Inde, du Brésil et d'Afrique du Sud. Elle vise entre autres la promotion de l'utilisation des nanotechnologies pour la production d'eau potable. Le projet porte sur trois domaines de recherche de haute priorité : les membranes de nanofiltration et d'ultrafiltration ; les systèmes de purification d'eau à base de nanotechnologies pour les zones rurales et reculées ; et les nanogels, nanotubes et nanofibres à base de carbone.

Si les projets de nanotubes en carbone n'en sont qu'aux étapes préliminaires de planification, des progrès ont déjà été accomplis dans les autres domaines définis comme prioritaires. Dans le domaine de la nanofiltration, l'Université du Nord-Ouest en Afrique du Sud a construit dans un village éloigné une station de traitement ayant recours aux membranes d'ultrafiltration pour purifier l'eau saumâtre. La station extrait les polluants tels que le chlore, le nitrate, le phosphate et les sulfates et produit ainsi une eau potable destinée aux ménages et aux communautés. Au Brésil, *Embrapa*, la Corporation brésilienne pour la recherche agricole, espère développer un système de biodigestion utilisant des nanofiltres pour traiter l'eau d'irrigation et, plus tard, rendre l'eau potable. La biodigestion, sans nanofiltres, est déjà utilisée pour le traitement des eaux usées dans des zones rurales et urbaines.

*Embrapa* travaille par ailleurs au développement de nanoparticules magnétiques pour traiter l'eau contaminée par des pesticides. Ce type de technologie paraît spécialement adapté à l'élimination des polluants organiques, des sels et des métaux lourds contenus dans les liquides.

Un autre domaine de recherche qui intéresse l'initiative IBSA consiste à combiner les technologies de micro et de nanofabrication avec la nouvelle technologie des senseurs pour créer des senseurs de petite taille, jetables, portables et de haute précision pour la détection des substances chimiques et biochimiques dans l'eau.

L'impact potentiel des nanotechnologies sur le marché des senseurs est énorme, à la fois dans le monde développé et le monde en développement. Ainsi, selon la revue spécialisée *Nano-Markets*, les senseurs à base de nanotechnologies ont généré 2,7 milliards de dollars de recettes mondiales en 2008. En 2012, ce chiffre atteindrait 7,2 milliards de dollars.

Au Brésil, le Laboratoire national des Nanotechnologies appliquées à l'Agroindustrie, qu'accueille *Embrapa* au sein de son unité pour l'instrumentation agricole à São Paulo, a développé un senseur optique peu onéreux comportant des films assemblés grâce aux nanotechnologies et capable d'évaluer l'acidité de l'eau naturelle. En outre, des 'langues électroniques', autre type de senseur à base de polymères développé à *Embrapa*, peuvent distinguer différents types d'eau minérale et différencier l'eau pure de l'eau contaminée par des matières organiques.

Source : Extrait de « Le monde en développement participe au progrès des nanotechnologies de purification de l'eau », de Paulo Sergio de Paula Herrmann Jr. and José Antônio Brum, mai 2009, <http://www.scidev.net/fr/new-technologies/nanotechnology-for-clean-water/opinions/le-monde-en-d-veloppement-participe-au-progr-s-des.html>

### **La Water Centres of Excellence Initiative en Afrique Australe**

Un réseau d'expertise s'est également constitué en Afrique australe, et s'est fixé pour objectif de réunir les connaissances en gestion des ressources en eau des différents centres de recherche de la région.

Des centres sont déjà opérationnels aux Botswana, Malawi, Mozambique, Namibie, Afrique du Sud et Zambie, et d'autres pays de la Communauté de développement d'Afrique australe (SADC) seront invités à se joindre à cette initiative.

La première réunion de ce réseau s'est tenue à Cape Town en novembre 2009 et a établi un programme de travail pour les trois années à venir ; des financements pour des chercheurs et postdoc, ainsi que des ateliers de transfert de compétences et des conférences ont été planifiés.

La Commission européenne se serait engagée à verser deux millions de dollars au réseau pour 2010.

Plus d'information : Munyaradzi Makoni (Novembre 2009). Southern Africa links water research expertise. SciDev.net <http://www.scidev.net/en/news/southern-africa-links-water-research-expertise-1.html>

Les initiatives dépassent d'ailleurs le strict cadre de la recherche technique et comprennent également des travaux tout à fait originaux et prometteurs, de coopération entre « sciences dures » et « sciences sociales », scientifiques du nord et scientifiques du sud :



### **Les Nanodialogues au Zimbabwe (2006)**

En 2006, le *think tank* et institut de recherche *Demos*, l'ONG *Practical Action* et des chercheurs de l'Université de Lancaster ont travaillé en collaboration sur un processus visant à engager les groupes communautaires et des scientifiques dans un dialogue approfondi au Zimbabwe sur les apports des nanotechnologies pour l'eau potable, sur la base d'ateliers participatifs<sup>38</sup>.

Financé par le programme "*Sciencewise*" de l'Office de la science et de la Technologie, ce processus a abouti à la formalisation de recommandations sur des questions cruciales de rentabilité, mobilité des ressources, sensibilisation, acceptabilité, durabilité et cadre politique.

Plus d'informations : Grimshaw, D.J.; Stilgoe, J., and Gudza, L. (2006). *The Role of New Technologies in Potable Water Provision: A Stakeholder Workshop Approach*. Rugby: Practical Action. <http://practicalaction.org/docs/ia4/nano-dialogues-2006-report.pdf>

<sup>38</sup> Grimshaw, D.J., Gudza, L.D., Stilgoe, J. How Can Nanotechnologies Fulfil the Needs of Developing Countries? In In Savage, N.; Diallo, M.; Duncan, J.; Street, A.; Sustich, R. (2009). *Nanotechnology Applications for Clean Water*. William Andrew Publishing. [http://knovel.com/web/portal/browse/display?\\_EXT\\_KNOVEL\\_DISPLAY\\_bookid=2729&VerticalID=0http://medicine.plosjournals.org/perlserv?request=get-document&doi=10.1371/journal.pmed.0020097](http://knovel.com/web/portal/browse/display?_EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=2729&VerticalID=0http://medicine.plosjournals.org/perlserv?request=get-document&doi=10.1371/journal.pmed.0020097)

## 4. Risques

### 4.1 Risques environnementaux et sanitaires

Le recours aux nanotechnologies pour le traitement de l'eau n'est pas sans risques. L'ensemble des conséquences de l'exposition aux nanomatériaux demeure mal évalué, et dans l'état actuel des connaissances, il n'est pas certain que les différents projets à l'étude soient moins toxiques que les polluants qu'ils sont censés réduire ou détecter. Les connaissances et premiers résultats<sup>39</sup> portant sur la toxicité des nanomatériaux, leurs déplacements dans l'environnement ainsi que leur dégradation sont lacunaires et soulèvent des inquiétudes non négligeables :

- Au niveau environnemental : des nanoparticules ou nanomatériaux pourraient par exemple se désolidariser des dispositifs de détection / traitement utilisés (par exemple les nanoparticules fixées sur des nanomembranes ou dans les autres formes de filtres), et se diffuser dans l'environnement, où ils pourraient potentiellement fragiliser la faune et la flore.
- Au niveau sanitaire :
  - o Pour les travailleurs : la manipulation des nanoparticules ou nanomatériaux dans les installations de traitement de l'eau pourrait entraîner des risques sur la santé des travailleurs exposés.
  - o Pour les populations : l'éventuelle migration de nanoparticules dans l'eau traitée pourrait avoir des répercussions jusque dans la chaîne alimentaire, soit directement (par consommation de l'eau traitée), soit indirectement (par contamination des terres agricoles par exemple), et entraîner des risques pour la santé des populations.

Le seul cas des nanoparticules d'argent, utilisées à des fins antibactériennes pour le traitement de l'eau, alors que leurs répercussions néfastes sur la faune et la flore sont de plus en plus documentées, est à cet égard instructif<sup>40</sup>.

Tandis que de nombreux chercheurs appellent à davantage de recherches sur les risques potentiels pour la santé et l'environnement<sup>41</sup>, les pouvoirs publics font également part de leur inquiétude. Dans son rapport sur les nanoparticules manufacturées dans l'eau<sup>42</sup> paru en février 2008, l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa) recommande la mise en place de dispositions garantissant l'absence de toute utilisation de nanoparticules par injection directe dans les nappes phréatiques. Elle s'inscrit en phase avec, notamment la *Royal society* et la *Royal Academy of Engineering* britanniques qui dans leur rapport de 2004<sup>43</sup>, recommandent que l'utilisation dans l'environnement de nanoparticules manufacturées libres, notamment pour la remédiation des sols ou des nappes polluées, soit interdite jusqu'à ce que des

---

<sup>39</sup> <http://www.nanoceo.net/nanorisks>

<sup>40</sup> <http://www.nanoceo.net/nanorisks/silver-particles>

<sup>41</sup> Hillie, T. and Hlophe, M. (November 2007). Nanotechnology and the challenge of clean water. *Nature Nanotechnology* 2, 663 – 664.

<sup>42</sup> Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa) - Les nanoparticules manufacturées dans l'eau, Février 2008 <http://www.afssa.fr/Documents/EAUX-Ra-Nanoparticules.pdf>

<sup>43</sup> Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties (2004) <http://www.nanotec.org.uk/report/Nano%20report%202004%20fin.pdf>

recherches puissent être conduites et aient démontré que les bénéfices étaient supérieurs aux risques (recommandation R. 5 (ii)).

#### 4.2 Risques socio-économiques

Ainsi que l'a récemment noté le Bureau européen de l'environnement (BEE)<sup>44</sup>, les dispositifs de filtration / décontamination de l'eau impliquant des nanotechnologies remplissent souvent des fonctions similaires aux technologies actuelles, mais peuvent avoir l'inconvénient de priver les populations du contrôle et du savoir faire qu'elles peuvent avoir en la matière (voir le paragraphe sur les « autres solutions » plus bas).

Leur fabrication nécessite des capacités technologiques sophistiquées, actuellement uniquement disponibles dans les pays développés. Le risque est donc de rendre les PED encore plus dépendants des entreprises des pays du nord spécialisées dans le traitement des eaux, dans un domaine où la recherche du profit est parfois difficilement compatible avec les exigences d'équité en termes d'accès à l'eau. Le BEE souligne ainsi que les sommes investies par *General Electric*, *Dow Chemicals*, *Siemens* et d'autres dans le marché de l'eau et dans la R&D en nanotechnologie se chiffrent en milliards de dollars<sup>45</sup>. Le développement approprié de nanotechnologies utiles et utilisables passe par une correction des facteurs économiques et politiques que le rapport onusien *World Water Development Report* mentionne comme étant les principales raisons de l'absence à l'accès à l'eau dans le monde (UNESCO 2006)<sup>46</sup>.

#### 4.3 Coûts

On s'attend à une future amélioration dans la technologie de purification par les membranes de nanofiltration. Les coûts prohibitifs de dessalement devraient être ainsi limités. Plus généralement, selon certains, la production des nanoparticules nécessiterait moins de main-d'œuvre, de capitaux, de terres et d'énergie que les méthodes traditionnelles de purification de l'eau<sup>47 48</sup>.

Mais cette appréciation est loin de faire l'unanimité. Les pays ou régions les plus pauvres n'ont que très rarement les moyens financiers et humains d'acquérir, produire, faire fonctionner et entretenir des filtres à eau intégrant des procédés ou matériaux nanostructurés, et encore moins des usines d'assainissement. Le rapport publié par l' Afssa en 2008 souligne par exemple que les coûts de développement de méthodes de traitement des nanoparticules leur semblent de nature à freiner ces développements.

En outre, si l'on inclut les coûts indirects et souvent externalisés – notamment ceux des vérifications nécessaires à l'évaluation de la toxicité des nanomatériaux et des risques sanitaires et environnementaux que peuvent entraîner leur production, leur migration dans l'environne-

---

<sup>44</sup> *International POPs Elimination Network's Nanotechnology Working Group*, Bureau européen de l'environnement. (2009). *Nanotechnology and the environment: A mismatch between claims and reality*. <http://www.eeb.org/documents/090713-OECD-environmental-Brief.pdf>

<sup>45</sup> Barlow, M. (2007), *Blue Covenant - the global water crisis and the coming battle for the right to water*, Melbourne, Black Inc.

<sup>46</sup> UNESCO (2006), *Water- a shared responsibility (executive summary)*, UN-WATER/WWAP/2006/3.

<sup>47</sup> *Nanotechnology, commodities and development*, Meridian Institute background paper (2007)

<sup>48</sup> Wiesner, M. R. (2006). *Responsible development of nanotechnologies for water and wastewater treatment*, *Water Science Technology*, 53, pp. 45–51.

ment, ainsi que leur dépollution éventuelle si elle s'avérait nécessaire – l'usage des nanotechnologies pour le traitement de l'eau dans les PED est loin d'être la panacée que l'on veut bien nous présenter aujourd'hui. Et ce d'autant plus qu'un examen au cas par cas serait nécessaire puisque chaque type de nanomatériaux présente des caractéristiques propres, et que pour le seul cas des nanotubes de carbone par exemple, il en existerait, selon les estimations de Vicky Colvin de la *Rice University*, jusqu'à 50 000 sortes différentes aujourd'hui<sup>49</sup>, chacune possédant des propriétés particulières...

#### 4.4 Risques de substitution

L'engouement pour les nanotechnologies ne doit pas faire oublier que d'autres solutions existent, parfois plus simples, économiques, efficaces et faciles à mettre en œuvre – d'ordre technique ou non.

##### ■ Autres solutions, d'ordre technique

Il serait souhaitable d'éviter que les nanotechnologies viennent concurrencer des moyens d'assainissement de l'eau simples mais efficaces, comme la chloration, qui font encore défaut dans de nombreuses régions. En effet, on observe que le recours croissant aux technologies peut rendre les populations dépendantes et fragiliser l'accès à l'eau qui devient ainsi objet technique accaparé par les industriels<sup>50</sup>.

Joachim Schummer rappelle que les projets mis en œuvre depuis les années 1970 de remplacement de l'eau de surface par l'eau des nappes souterraines ont eu comme conséquence fâcheuse d'augmenter les taux d'arsenic (et d'autres métaux lourds) dans l'eau potable des zones rurales dans de nombreuses régions (en particulier au Bangladesh, au Népal, en Inde, à Taiwan, en Thaïlande, en Argentine, au Chili, en Chine et au Mexique). Comme l'arsenic, ainsi que d'autres métaux lourds, se lie facilement avec l'hydroxyde de fer, un certain nombre de mesures de filtration simples et très efficaces, adaptées aux besoins et aux possibilités des pauvres des zones rurales ont été développées, comme l'utilisation de sable et de clous de fer mise au point par Susan Murcott, ou de l'alumine granulaire et des polymères couverts de perles d'hydroxyde de fer par Arup Sen Gupta<sup>51</sup>.

Le projet pilote de réduction des bactéries du choléra dans les eaux au Bangladesh, mentionné par Hillie et al (2007)<sup>52</sup> est également assez exemplaire : l'utilisation de vieux Sari pliés en quatre - méthode imbattable sur le plan de la simplicité et du coût ! - a permis d'éliminer 99% des bactéries de choléra présentes dans l'eau locale. Si des traitements nanotechnologiques permettraient certes d'améliorer les résultats obtenus en filtrant en outre des sels et quelques autres substances, ils présenteraient l'inconvénient non négligeable de déposséder la popula-

---

<sup>49</sup> Jo Anne Shatkin. (2008). *Nanotechnology : Health and Environmental Risks*, CRC Press, Taylor & Francis Group, p 11

<sup>50</sup> <http://www.thenational.ae/apps/pbcs.dll/article?AID=/20100114/BUSINESS/701149936/1137>

<sup>51</sup> Ces filtres sont déjà utilisés dans plusieurs centaines de villages. Cf.

[http://web.mit.edu/watsan/worldbank\\_summary.htm](http://web.mit.edu/watsan/worldbank_summary.htm) et <http://www.lehigh.edu/~aks0/arsenic.html> ; voir aussi le Prix Grainger par la US National Academy of Engineering <http://www.graingerchallenge.org>.

<sup>52</sup> Hillie, T. and Hlophe, M. (November 2007). *Nanotechnology and the challenge of clean water*. *Nature Nanotechnology* 2, 663 – 664.

tion locale de la maîtrise des procédés de dépollution, pour un gain dans le rendement d'élimination somme toute limité.

### ■ Autres solutions, plus larges

Les polluants présents dans les pays concernés sont principalement des microbes qui prolifèrent dans les régions où l'assainissement est insuffisant, ainsi que des métaux lourds. A l'exception de certaines maladies microbiennes, comme la schistosomiase, le trachome, et des helminthes intestinaux, « environ 4 milliards de cas de diarrhée chaque année provoquent 2,2 millions de morts » - de loin le plus gros problème causé par l'insalubrité de l'eau<sup>53</sup>. Selon l'OMS<sup>54</sup>, les morts causées par les maladies diarrhéiques pourraient être évitées par une meilleure hygiène (32%), l'éducation à l'hygiène (jusqu'à 45%), et par l'amélioration de l'approvisionnement en eau (6-25%) ou de traitement de l'eau (35-39%).

La communauté scientifique<sup>55</sup> et les praticiens du secteur<sup>56, 57</sup> insistent aujourd'hui également sur la nécessité d'apporter une réponse plus globale. Il ne s'agit pas ici de détailler les différentes solutions développées ou à développer pour régler le problème de l'eau dans les PED, mais bien plutôt de mettre en perspective les réponses que peuvent apporter les nanotechnologies en comparaison d'autres solutions plus globales et à tout le moins complémentaires – technologiques ou politiques – qui (re)donnent aux populations une prise sur leurs problèmes d'approvisionnement ou de traitement de l'eau.

## 5. Conclusion

Si les nanotechnologies sont souvent présentées comme une solution miracle aux problèmes d'assainissement de l'eau dans les PED, la prudence est de rigueur devant les risques et le coût qu'elles peuvent induire.

La Fédération professionnelle des entreprises de l'eau (FP2E) auditionnée par l'Afssa (aujourd'hui Anses, Agence nationale de sécurité sanitaire) a souligné que le gain de rendement escompté apparaît modeste par rapport aux préoccupations sanitaires et environnementales que suscitent ces technologies<sup>58</sup>.

Si le constat vaut incontestablement pour les grosses infrastructures des pays du Nord, il ne faudrait pas néanmoins qu'il empêche un examen approfondi des opportunités potentiellement offertes par les nanotechnologies pour des procédés adaptés aux spécificités et aux besoins des

<sup>53</sup> UN Millennium Project. (2004). *Interim Full Report of Task Force 7 on Water and Sanitation*. p. 23. <http://www.unmillenniumproject.org/documents/tf7interim.pdf>.

<sup>54</sup> Organisation Mondiale de la Santé (OMS – WHO). (2005). *Water, sanitation and hygiene links to health: Facts and figures*. [http://www.who.int/entity/water\\_sanitation\\_health/factsfigures2005.pdf](http://www.who.int/entity/water_sanitation_health/factsfigures2005.pdf)

<sup>55</sup> Duncan J.; Savage N.; Street, A. "Competition for Water" in Savage, N.; Diallo, M.; Duncan, J.; Street, A.; Sustich, R. (2009). *Nanotechnology Applications for Clean Water*. William Andrew Publishing.

<sup>56</sup> <http://www.worldwaterforum5.org/>

<sup>57</sup> Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) (2009). Menaces sur les Ressources en Eau douce, Evaluation de la vulnérabilité des Ressources en Eau douce à l'Evolution de l'Environnement, Afrique [http://www.unep.org/dewa/assessments/EcoSystems/water/Freshwater%20under%20Threat%20Africa%20Pub\\_7\\_2dpi.pdf](http://www.unep.org/dewa/assessments/EcoSystems/water/Freshwater%20under%20Threat%20Africa%20Pub_7_2dpi.pdf)

<sup>58</sup> Afssa (février 2008), Les nanoparticules manufacturées dans l'eau



PED, en fonction des contraintes de terrain. Un vaste chantier qui n'en est qu'à ses débuts, et à côté duquel il est également essentiel d'évaluer et mettre en regard les risques sanitaires, environnementaux et sociaux que ces procédés pourraient entraîner - et qui, pour le coup, sont tout aussi importants, sinon plus, dans les PED, puisque ces derniers ont encore moins de ressources pour étudier, encadrer, et gérer les risques.

*Quelle pertinence des nanos dans le domaine de l'eau ? Quelle réponse aux besoins locaux ?*

Certains chercheurs soulèvent à juste titre la question de la pertinence des nanotechnologies en réponse aux problèmes de traitement de l'eau dans les PED.

Le philosophe allemand, Joachim Schummer<sup>59</sup>, de l'université de Darmstadt, pose par exemple la question des finalités des recherches effectuées dans ce domaine et de leur utilisation (ou non) pour répondre aux besoins des PED. Le client principal des sociétés américaines ayant développé des applications à ce jour étant l'armée de l'air, il est clair que certains procédés développés ainsi que leur coût ne s'inscrivent pas dans une finalité d'aide aux PED : il s'agit de fournir de « l'eau suffisamment pure pour être utilisée à des fins médicales directement sur le champ de bataille »<sup>60</sup>.

Si l'on peut arguer du fait que ces applications, d'abord militaires, pourront être dans un second temps, transférées au domaine civil, il ne faut pas non plus négliger un deuxième écueil que souligne également Schummer : les filtres basés sur des zéolites et des céramiques, qui sont aujourd'hui rendus possibles par les nanotechnologies, ont par exemple été produits depuis de nombreuses décennies<sup>61</sup>, sans répondre pour autant aux besoins des PED.

*Favoriser l'utilisation prudente et intégrée de procédés nanotechnologiques dans certains projets/programmes de traitement de l'eau dans les PED.*

Des procédés nanotechnologiques permettant un meilleur accès à l'eau potable seraient incontestablement bénéfiques et bienvenus dans les PED, étant entendu qu'ils ne sauraient être mis en œuvre sans qu'une évaluation précise de leurs risques potentiels en termes de santé et d'environnement n'ait été effectuée au préalable.

Par ailleurs, l'élaboration de partenariats scientifiques Nord Sud (échanges, séjours, formations, recherche commune, etc.) permettrait d'adapter les procédés nanotechnologiques aux réalités locales et de favoriser l'appropriation et le transfert de compétences par un accompagnement long<sup>62 63</sup>.

---

<sup>59</sup> Joachim Schummer (2007). *The Impact of Nanotechnologies on Developing Countries*, in Fritz Althoff, Patrick Lin, James Moor & John Weckert (eds.), *Nanoethics: The Ethical and Social Implications of Nanotechnology*, Hoboken, NJ: Wiley, pp. 291-307. [http://www.joachimsschummer.net/papers/2007\\_Nano-Developing-Countries\\_Althoff-et-al.pdf](http://www.joachimsschummer.net/papers/2007_Nano-Developing-Countries_Althoff-et-al.pdf)

<sup>60</sup> Kelly M. (24 Avril 2004). *Vermont's Seldon Labs wants to keep soldier's water pure*. Small Times. [http://www.smalltimes.com/document\\_display.cfm?section\\_id=97&document\\_id=7764](http://www.smalltimes.com/document_display.cfm?section_id=97&document_id=7764)

<sup>61</sup> Sherman JD. (1999). *Synthetic zeolites and other microporous oxide molecular sieves*. Proceedings of the National Academy of Science, USA, 96:3471-8.

<sup>62</sup> Hlophé, M. et Hillie, T. "Challenges to Implementing Nanotechnology Solutions to Water Issues in Africa" in in Savage, N.; Diallo, M.; Duncan, J.; Street, A.; Sustich, R. (2009). *Nanotechnology Applications for Clean Water*. William Andrew Publishing.

## II. LES NANOTECHNOLOGIES FACE AU DEFI CAPITAL POUR L'AUTONOMIE DES PED : L'ENERGIE

---

Environ 2 milliards de personnes dans le monde n'ont pas accès à l'électricité, et la plupart d'entre elles vivent dans les zones rurales des PED<sup>64</sup>. Aujourd'hui, alors que l'énergie représente un vrai levier de développement (en termes de réfrigération, communication, éducation et santé), son approvisionnement est un problème de plus en plus difficile à résoudre en raison de l'évolution démographique, de l'augmentation rapide des besoins énergétiques des PED et des combustibles fossiles qui se font de plus en plus rares. Selon les prévisions de l'Agence internationale de l'énergie, la demande d'énergie primaire devrait croître de presque 60% d'ici 2030, les pays émergents contribuant largement à cet emballement.

Les nanotechnologies peuvent aider à relever l'un des plus grands défis technologiques du XXI<sup>ème</sup> siècle. Pour assurer leur autonomie énergétique, les pays ont intérêt à mettre au point localement, des méthodes de production (à partir des énergies renouvelables abondantes comme le soleil), de stockage et de transport plus efficaces et plus innovantes.

### 1. Opportunités : Les nanotechnologies pour capter, conserver, économiser l'énergie

Les nanotechnologies dans le domaine de l'énergie représentent un potentiel d'opportunités très vaste pour capter, stocker, et économiser l'énergie. Il existe quantité d'applications possibles ; la partie qui suit se propose d'en illustrer quelques unes, mais ne prétend pas à l'exhaustivité.

#### 1.1 Les nanotechnologies pour mieux capter l'énergie

Les nanotechnologies peuvent améliorer l'efficacité des procédés exploitant les énergies renouvelables. Elles peuvent ainsi contribuer à la gestion durable des matières premières et à la protection de l'environnement.

##### ■ Mieux capter l'énergie solaire

Les nanotechnologies en matière d'énergie solaire semblent être très prometteuses pour les PED, en particulier pour ceux bénéficiant d'un fort ensoleillement. Des trois principales technologies - la technologie photovoltaïque, les capteurs solaires, et les centrales thermiques solaires - c'est la technologie photovoltaïque qui est à présent la plus impactée par les nanotechnologies, à l'exception des revêtements des miroirs et autres matériaux spécialisés.

---

<sup>63</sup> Hillie, T. and Hlophe, M. (6 Mai 2009). L'eau et les nanotechnologies : l'appropriation par les communautés est indispensable. SciDev.Net. <http://www.scidev.net/fr/new-technologies/nanotechnology-for-clean-water/opinions/l-eau-et-les-nanotechnologies-l-appropriation-par-.html>

<sup>64</sup> World Energy Council, *The Challenge of Rural Energy Poverty in Developing Countries*. London; 1999 : <http://www.worldenergy.org/wec-geis/publications/reports/rural/download/download.asp>

La technologie photovoltaïque (et les capteurs solaires) sont particulièrement intéressants pour les PED du fait de leur utilisation décentralisée dans les zones rurales - ils ne dépendent pas des centrales ni des réseaux électriques – et de leur durabilité. C'est pourquoi de nombreuses organisations internationales ont fait la promotion de l'énergie solaire en milieu rural depuis les années 1980 (cf. les écoles d'été sur l'électricité solaire pour les zones rurales et isolées et le Programme Village solaire de l'UNESCO). Les nanotechnologies peuvent aider à développer des dispositifs photovoltaïques qui soient faciles à manipuler, durables et bon marché.

- dépôts successifs de couches d'épaisseurs nanométriques ;
- emploi de silicium possédant une structure interne nanostructurée ;
- emploi d'autres minéraux que le silicium, voire des molécules biologiques mimant la photosynthèse des plantes ;
- dopage de cellules de silicium par l'incorporation en très faible concentration d'éléments chimiques (manganèse par exemple).

Des peintures ou des sprays actuellement à l'étude pourraient être facilement applicables sur les toits ainsi transformés en collecteurs d'énergie solaire.

L'innovation en photovoltaïque organique par exemple mobilise entreprises et chercheurs pour des approches innovantes :

- L'intégration de colorants organiques comme la chlorophylle et de nanoparticules de dioxyde de titane ou de sulfures de cadmium dans des matières synthétiques, a été développée à l'école polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL). Elle permet d'offrir de l'énergie même lorsque la lumière du soleil est diffuse. Les cellules créées peuvent être imprimées sur plastique et être intégrées à des téléphones portables, des textiles de tentes ou de couvertures, des carrosseries automobiles ou des tuiles. Cet enduit photovoltaïque pourrait rendre toute surface disponible productrice d'électricité ! La production de tels matériaux peut être moins onéreuse et plus écologique. Comme de simples films suffisent, il n'y a plus besoin de corps vitreux complexes. Néanmoins, un aspect demeure insatisfaisant : la durée de vie.
- Des chercheurs de *Ohio University* et *Tel Aviv Univ* en Israël ont développé une structure hybride contenant de la chlorophylle, le pigment naturel, reliée à des nanocristaux d'argent et d'or pour emmagasiner la lumière.
- L'œil de la mite, qui présente des microstructures, est un autre exemple de la nature dont s'inspire la technique. Si l'on dispose ce type de microstructures à la surface d'une cellule solaire, la lumière est moins réfléctée et donc l'énergie mieux exploitée. Les couches modernes antireflets contiennent des assemblages denses de nanobilles en dioxyde de silicium.

Pour les centrales solaires thermodynamiques, un champ circulaire de miroirs inclinés réfléchit le rayonnement solaire sur un réservoir de sels fondus placé au sommet d'une tour. L'énergie thermique emmagasinée assure le fonctionnement d'une turbine à gaz. Deux prototypes sont inaugurés en 2010 en Espagne et en Afrique du Sud.

### ■ Mieux capter l'énergie éolienne

Les nanostructures sont également utiles pour les éoliennes. Les pales du rotor, de plus en plus grandes, sont soumises à des contraintes mécaniques de plus en plus fortes. Les nanotubes de carbone intégrés dans des matières synthétiques donnent à ces dernières une stabilité nettement plus grande, ce qui devrait permettre à l'avenir de produire des rotors beaucoup plus légers. Les tubes assurent en outre une bien meilleure conductivité électrique et agissent comme

un paratonnerre (un atout non négligeable puisque que 10 % des interruptions de fonctionnement d'entreprises sont liées au passage de la foudre). Les nanostructures en surface peuvent en outre empêcher les tourbillons, et contribuent ainsi à augmenter le rendement énergétique.

#### ■ Récupérer des énergies perdues

Les nanogénérateurs permettent d'emmagasiner de l'énergie mécanique issue de sources environnementales comme des ultrasons, des vibrations, le flux sanguin pour produire du courant électrique continu. Le générateur est constitué d'une assiette en zig-zag qui contient des rangées de nanofils d'oxyde de zinc qui bougent en présence d'énergie mécanique.

Les nanotechnologies pourraient aussi aider à récupérer la chaleur émise lors de la combustion interne dans les moteurs par des convertisseurs thermoélectriques, ou les émissions de CO<sub>2</sub> d'usines thermoélectriques.

### 1.2 Les nanotechnologies pour mieux stocker l'énergie

Les solutions de stockage deviennent un élément stratégique pour assurer la fiabilité des approvisionnements électriques et remédier à l'intermittence de certaines sources d'énergie (solaire, éolienne...). De nouveaux systèmes sont mis au point pour optimiser les piles à hydrogène, la puissance des batteries, des accumulateurs plus performants.

#### ■ Des piles à combustibles bénéficiant d'un meilleur stockage de l'hydrogène

Pour les PED, la production locale d'énergie sans connexion au réseau d'électricité pourrait notamment être généralisée par des piles à combustible utilisant des nanomatériaux.

Des nanocubes basés sur des composés organométalliques pourraient par exemple permettre de résoudre la question du stockage de l'hydrogène liquide, qui a fait obstacle aujourd'hui à l'utilisation de cette source d'énergie électrique qui pourrait être très précieuse. Du fait de sa structure poreuse, un seul dé de ce matériau équivaut à la superficie d'un terrain de football. L'hydrogène comprimé, piégé dans cette substance, reste en surface. Cela permet, dès que la pression décroît, de prélever ce gaz de manière ciblée.

#### ■ Des batteries plus puissantes

Un autre aspect peut-être encore bien plus important est le stockage d'électricité dans des piles. La technologie lithium-ion présente à cet égard des possibilités particulièrement prometteuses. Ce genre de pile est de plus en plus utilisé dans les appareils qui doivent être le plus léger possible et d'une grande autonomie (comme les ordinateurs portables). Ces piles pourraient bientôt servir à alimenter en énergie les voitures électriques .

Les nanomatériaux, par exemple les membranes céramiques souples, accroissent les performances et la sécurité des piles lithium-ion. De nouvelles électrodes faites à partir de matériau nanostructuré à base de carbone promettent une capacité de charge plus élevée. Ces piles de nouvelle génération présentent un tel intérêt que des entreprises et des institutions de recherche ont décidé de coopérer au sein d'une alliance pour l'innovation (*Innovationsallianz*) soutenue par l'Etat fédéral allemand<sup>65</sup>

<sup>65</sup> [http://www.bundesregierung.de/Content/FR/Artikel/2008/08/2008-08-01-hightech-serie-nano-energie\\_fr.html](http://www.bundesregierung.de/Content/FR/Artikel/2008/08/2008-08-01-hightech-serie-nano-energie_fr.html)

## ■ Des accumulateurs plus performants

Des chercheurs de l'université de *Stanford* (Californie) sont parvenus à fabriquer des accumulateurs et de super condensateurs à base de papier recouvert d'une encre constituée de nanotubes de carbone et des nanofils d'argent, très intéressants du fait de leur faible poids, leur flexibilité et leur résistance au froissement et à la submersion dans des solutions acides ou basiques. L'adhérence de l'encre est meilleure que celle de l'encre employée dans des accumulateurs en plastique sur lesquels les chercheurs travaillent déjà depuis un certain temps. Un autre avantage : le ratio surface/volume élevé. Un super condensateur ainsi réalisé à base de papier imprimé accepte environ 40 000 cycles charge-décharge. Le papier comme support d'accumulateurs devrait offrir une foule de possibilités inédites - par exemple, stocker de l'énergie dans le papier peint d'une pièce. La commercialisation de cette nouvelle technique de production ne devrait pas tarder, puisque pour fabriquer ces nouveaux accumulateurs il suffit d'appliquer l'encre sur du papier.

### 1.3 Les nanotechnologies pour mieux économiser l'énergie

La mise au point de **procédés moins gourmands en énergie** est aussi capitale. Les nanotechnologies pourraient ainsi permettre :

- l'usage de matériaux plus légers et résistants pour les véhicules,
- le remplacement des lampes à incandescence par des diodes électroluminescentes qui consomment moins d'électricité,
- le remplacement des écrans cathodiques par des systèmes à cristaux liquides (dix fois moins consommateurs)...

## ■ La diminution des pertes dans le transport de l'électricité

C'est un objectif important. Grâce à l'utilisation des nanotubes de carbone et autres nanomatériaux dans les lignes de transmission, on pourrait augmenter notablement l'efficacité et diminuer sensiblement le coût du transport de l'électricité. L'amélioration des performances de transmission de l'électricité faciliterait non seulement sa distribution, mais rendrait également économiquement viables les sources d'énergie éloignées, comme des fermes d'énergie solaire ou éolienne construites en zone désertique, ou des centrales de production placées près des sources fossiles dans des régions reculées. L'amélioration des techniques qui rendraient plus faciles la conversion de l'hydrogène et son stockage permettrait de transformer en hydrogène l'électricité produite en excès quelque part sur le réseau et de la stocker, pour la retransformer lors d'une forte demande de consommation.

## ■ Eclairage

L'augmentation des rendements pour l'éclairage est aussi en pleine explosion : les gels d'alumine et les alumines ultrapures de *Bayer*, ainsi que certaines terres rares améliorent les performances de luminescence. *Nanocrystal Imaging*, installée près de New York, prévoit de commercialiser des ampoules au phosphore, capables de transformer 100 % de leur énergie en lumière (contre seulement 5 % avec les filaments de tungstène actuels).

Les développements nanotechnologiques aident à optimiser les LED (*Light Emitting Diode*), en français "diodes électroluminescentes" (DEL), qui ne tarderont plus à remplacer les ampoules électriques classiques. Elles fournissent la même quantité de lumière mais ne nécessitent qu'un vingtième de l'énergie.

## ■ Transports

Les recherches sur les nanotechnologies ont également des applications attendues dans le domaine des transports, via l'amélioration de l'efficacité des carburants, de l'allègement des structures des véhicules (automobiles, aéronautiques), de la résistance et durabilité des pneus.

## ■ Isolation thermique

En France, Saint-Gobain – qui a abandonné en 2004 la compétition sur les nanotubes de carbone, marqué par l'expérience de l'amiante – fait des dépôts de couches minces notamment d'argent métallique sur ses vitrages pour un effet de climatisation (barrières thermiques) : l'argent réfléchit l'infra rouge, l'été vers l'extérieur, de sorte qu'il fait moins chaud, l'hiver vers l'intérieur, ce qui réchauffe l'habitat. Le groupe opère également des travaux sur les « vitres commutables » capables de devenir des surfaces éclairantes le soir.

Les nanotechnologies permettent d'améliorer le fonctionnement de matériaux thermoélectriques déjà utilisés dans de nombreuses applications et pourraient avoir des incidences tout à fait intéressantes dans l'énergie solaire, la réfrigération, les systèmes de pots d'échappement, etc.

## 2. Exemples d'acteurs

### 2.1 Quelques acteurs industriels

**Aux Etats-Unis**, [Inframmat Corporation](#), Konarka Technology, Nanosys, Nanosolar, Heliovolt

**En Turquie**, NNT Nanotechnology & Boron Products

**En Europe**, le groupe Prayon

### 2.2 Quelques acteurs académiques

#### ■ Aux Etats-Unis

L'Institut Baker pour les politiques publiques de la *Rice University* à Houston développe un programme sur l'énergie « *Energy Forum* ». Il a réalisé en relation avec le *Center for Nanoscale Science and Technology* et l'*Environmental and Energy Systemes Institute* trois ateliers ciblés sur « énergie et nanotechnologies » (Stratégie pour le futur, Perspectives sur l'énergie solaire du 21eme siècle, stockage et distribution)

- Rapport « Energie et Nanotechnologies : une stratégie pour le futur »  
<http://www.rice.edu/energy/publications/index.html>
- Compte rendu Stockage et distribution des deux journées de conférences organisées en novembre 2005 par le *Baker Institute* de *Rice University*, auquel s'était associée la Mission pour la Science et la Technologie de l'Ambassade de France  
[http://www.bulletins-electroniques.com/rapports/smm06\\_032.htm](http://www.bulletins-electroniques.com/rapports/smm06_032.htm)

#### ■ En France

Le **Liten** (Laboratoire d'Innovation pour les Technologies des Energies Nouvelles) et les nanomatériaux du CEA, est l'un des plus importants et plus jeunes centres européens de recherche sur les nouvelles technologies de l'énergie. Les activités du Liten sont centrées sur l'énergie solaire et les bâtiments basse consommation d'énergie, les transports du futur (hydro-

gène, pile à combustible et batteries), et les nanomatériaux pour l'énergie et leur usage sécurisé. Il est le principal instigateur de l'Institut national de l'énergie solaire (INES), basé à Chambéry, qui joue un rôle majeur au sein du pôle de compétitivité des énergies renouvelables Tenerrdis.

**Le programme ARCUS lancé en mai 2008**, coopération franco-indienne, implique en Ile-de-France plusieurs laboratoires et universités<sup>66</sup>. Il est soutenu financièrement par le MAEE et la Région Ile de France.

En Inde, sont impliqués les meilleurs instituts scientifiques (*Tata Institute* à Bombay, *Indian Institute of Science* à Bangalore, plusieurs *Indian Institutes of Technology*, ...) de grandes universités (Jawaharlal Nehru à Deli, Pune et Pondichéry), ainsi que de nombreux centres d'art et d'histoire indiens.

Parmi les cinq axes principaux de travail figure le thème « nouveaux états de la matière ».

Source : <http://www.universud-paris.fr/content/le-p-le-mol-cules-et-mat-riaux-pour-l-energie-l-environnement-et-la-sant-mmees>

*Trois experts de référence :*

- Gilles Flamant, directeur du laboratoire [PROMES](#) spécialisé dans l'énergie solaire
- Edward McRae, directeur adjoint du laboratoire de chimie du solide minéral de l'Université de Nancy, spécialiste des matériaux carbonés nanostructurés.
- Olivier Lottin, laboratoire d'énergétique de Nancy, spécialiste des piles à combustible

#### ■ En Thaïlande,

NANOTECH, créé en 2004, comporte 8 centres d'excellence, avec des projets dans le domaine de l'énergie.

#### ■ Coopération Sud Sud

L'Inde, le Brésil et l'Afrique du Sud sont également entrés dans la course des recherches nanotechnologiques en matière d'énergie, à travers notamment l'initiative IBSA (*India-Brazil-South Africa*) (qui compte également des projets nano dans le domaine de l'eau – voir l'étude de cas « Eau »).

### 2.3 Exemples de partenariat public-privé

**Au niveau européen**, le groupe Arkema (premier chimiste français) coordonne un gros programme, *Genesis*, associant 17 partenaires dont Renault, Plastic Omnium, Nexans, Meca-chrome et le CEA. 107 millions d'euros, dont 46 issus de l'Etat français, sur cinq ans, seront consacrés à six secteurs d'application : composants automobiles, stockage d'énergie, câblerie, composites, encres conductrices et domaine environnemental.

L'Arabie saoudite envisage d'ouvrir un centre international consacré à la nanofabrication, la production de matériaux à l'échelle nanoscopique. Le Centre d'excellence dans les applications en nanofabrication (CENA) est une joint venture, collaboration entre la Cité du Roi Abdulaziz

<sup>66</sup> 8 laboratoires de l'université Paris-Sud 11, l'ENS Cachan, l'ENS Ulm, les universités Paris 3, Paris 4 et Paris 10 et les musées Albert-Kahn et Guimet

pour les Sciences et les Technologies (KACST) et Intel, le géant de l'informatique. L'institut sera situé à Riyad, la capitale saoudienne, et devrait ouvrir ses portes en 2010. Le CENA sera basé au KACST, qui va également assurer le financement des équipements, tandis qu'Intel coordonnera la recherche et guidera les travaux des étudiants.

### 3. Des risques environnementaux et sanitaires non négligeables

Le bénéfice de ces applications n'est cependant pas clair au regard de la faible compréhension que nous avons du comportement des nanoparticules dans l'environnement. Ainsi les promesses en matière d'énergie ne doivent pas masquer les risques associés à la prolifération de nanomatériaux dans l'environnement<sup>67</sup>.

En 2009, le Bureau européen de l'environnement (BEE) et le Réseau international pour l'élimination des Polluants organiques persistants (IPEN) ont voulu faire le point sur la question, dans un rapport intitulé *Nanotechnologie et environnement : un décalage entre les discours et la réalité*<sup>68</sup>. Pour ces deux réseaux d'ONG, les bienfaits environnementaux à attendre des nanotechnologies sont à mettre au regard, notamment, des coûts liés à la production des nanomatériaux et des impacts sur l'environnement et sur la santé humaine, encore mal connus : en fait, la fabrication de ces nouveaux matériaux requiert énormément d'eau et d'énergie et produit paradoxalement beaucoup de déchets, pour des rendements finalement assez faibles. Par ailleurs, la production de nanomatériaux requiert souvent l'utilisation de produits toxiques. Enfin, les nanomatériaux eux-mêmes constituent une nouvelle génération de produits chimiques qui peuvent s'avérer hautement toxiques pour l'environnement et la santé humaine. Ainsi, les nanomatériaux utilisés pour la confection de panneaux solaires (cadmium, nanotubes de carbone, quantum dots et nano-dioxyde de titane) posent de sérieux problèmes de toxicité pour l'environnement.

*« La "face cachée" du coût environnemental des nanotechnologies (demande accrue en énergie et en eau, pollutions environnementales liées aux produits de synthèse utilisés pour leur fabrication ou aux nanodéchets engendrés, etc.) est rarement reconnue, alors que les bénéfices escomptés sont souvent exagérés, rarement prouvés et, dans tous les cas, leur réalisation potentielle est encore éloignée de plusieurs années ».*

### 4. Conclusion

Risques et opportunités des nanotechnologies rivalisent dans le domaine de l'énergie comme dans les autres domaines.

Au-delà des considérations techniques développées plus haut, on peut aussi soulever la question, dans le domaine de l'énergie, des finalités des recherches effectuées dans ce domaine et de leur utilisation (ou non) pour répondre aux besoins des PED. Tout comme dans le cas de l'eau, aux Etats-Unis c'est le Département de la défense qui est le premier financeur des R&D en

---

<sup>67</sup> <http://www.nanoceo.net/nanorisks/environmental-implications>

<sup>68</sup> International POPs Elimination Network's Nanotechnology Working Group, Bureau européen de l'environnement. (2009). Nanotechnology and the environment: A mismatch between claims and reality. <http://www.eeb.org/documents/090713-OECD-environmental-Brief.pdf>



matière de sources d'énergie solaires. De nombreux procédés développés le sont à des fins militaires, et ni leur usage ni leur coût ne s'inscrivent dans une finalité d'aide aux PED.

Au-delà des applications militaires ou plus futiles, réservées pour l'instant aux pays du nord, les applications des nanotechnologies dans le domaine de l'énergie pourraient pourtant permettre des avancées dans les PED. Au Bénin, des projets d'irrigation à base d'énergie solaire ont vu le jour<sup>69</sup> et donné des résultats très encourageants grâce au travail d'une équipe du *Program on Food Security and the Environment* et du *Department of Environmental Earth System Science* de l'université de Standford, mené en collaboration avec des groupes agricoles locaux constitués de femmes.

La mise à profit des opportunités des nanotechnologies en matière énergétique aux PED exigerait, entre autres conditions, que la technologie soit adaptée aux conditions locales qui diffèrent grandement, par exemple, de celles du sud de la Californie où sont menées des recherches sur le sujet.

Quand les cellules solaires sont la toute première source d'approvisionnement en électricité dans un village, les gens doivent d'abord s'accoutumer à l'électricité. Outre les barrières culturelles qu'il leur faut surmonter, les populations doivent construire et apprendre à utiliser les installations électriques de base, y compris les câbles, interrupteurs, fusibles, transformateurs, et les batteries rechargeables, en plus des dispositifs électriques pour lesquels l'ensemble du dispositif est installé.

Les nanotechnologies ont certes le potentiel d'améliorer l'efficacité et le prix des cellules solaires de quelques points de pourcentage, ou de créer des cellules solaires plus petites, souples et transportables, mais ce sont des réponses bien dérisoires face à la réalité des problèmes. Comme en ce qui concerne l'assainissement de l'eau, les véritables défis sont très prosaïques et leur résolution réside en grande partie dans des réponses éducatives et culturelles.

---

<sup>69</sup> Solar-Powered Irrigation Significantly Improves Diet and Income in Rural Sub-Saharan Africa. (2010). SciDev.net  
[http://www.sciencedaily.com/releases/2010/01/100104151923.htm?utm\\_source=feedburner&utm\\_medium=feed&utm\\_campaign=Feed%3A+sciencedaily+%28ScienceDaily%3A+Latest+Science+News%29](http://www.sciencedaily.com/releases/2010/01/100104151923.htm?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+sciencedaily+%28ScienceDaily%3A+Latest+Science+News%29)