

COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES

Bruxelles, le 12.5.2004
COM(2004) 338 final

COMMUNICATION DE LA COMMISSION

Vers une stratégie européenne en faveur des nanotechnologies

COMMUNICATION DE LA COMMISSION

Vers une stratégie européenne en faveur des nanotechnologies

TABLE DES MATIÈRES

Synthèse	3
1. Introduction.....	4
1.1. Qu'entend-on par «nanotechnologies» ?	4
1.2. Pourquoi les nanotechnologies sont-elles importantes?	4
1.3. Quelle démarche adopter pour garantir l'innocuité des nanotechnologies?.....	7
2. Le financement et les activités en faveur de la R&D sur les nanotechnologies dans le monde	7
2.1. La R&D sur les nanotechnologies dans les pays tiers.....	8
2.2. La R&D sur les nanotechnologies en Europe.....	8
3. La voie de l'infiniment petit: cinq axes dynamiques pour stimuler les progrès.....	10
3.1. Recherche et développement: passer à la vitesse supérieure.....	10
3.2. Infrastructures: créer des «pôles d'excellence» européens.....	14
3.3. Investir dans les ressources humaines	16
3.4. Innovation industrielle, passer des connaissances à la technologie	19
3.5. Intégrer la dimension sociétale	22
4. La protection de la santé publique, de la sécurité, de l'environnement et des consommateurs	24
5. Pour aller plus loin: la coopération internationale	26
Annexe: Estimation du financement public accordé aux nanotechnologies	28

SYNTHESE

Les nanosciences et les nanotechnologies constituent de nouvelles approches de la recherche et développement (R&D) visant à maîtriser la structure fondamentale et le comportement de la matière au niveau des atomes et des molécules. Ces disciplines offrent la possibilité de comprendre des phénomènes nouveaux et d'induire des propriétés nouvelles susceptibles d'être exploités à l'échelle microscopique et macroscopique. Les applications des nanotechnologies font actuellement leur apparition et auront demain des incidences dans la vie de chacun.

Au cours de la dernière décennie, l'Union européenne (UE) a créé une solide base de connaissances en nanosciences. Mais il n'est pas certain qu'elle soit capable de se maintenir en bonne position dans ce secteur, car d'une part, elle investit proportionnellement moins que ses principaux concurrents et d'autre part, elle manque d'infrastructures de rang mondial («pôles d'excellence») pour atteindre la masse critique nécessaire. Ceci en dépit du fait que l'investissement en faveur des programmes communautaires au niveau national s'accroît parallèlement à rythme rapide.

L'excellence européenne dans le domaine des nanosciences doit enfin se concrétiser dans des produits et des procédés viables du point de vue commercial. Les nanotechnologies apparaissent comme l'un des domaines de la R&D dont les perspectives prometteuses et la rapide expansion sont le mieux à même de donner un nouvel élan à la réalisation des objectifs prévus par le processus de Lisbonne. Il est néanmoins essentiel de ménager dans cette optique un environnement favorable à l'innovation, en particulier pour les petites et moyennes entreprises (PME).

Les nanotechnologies doivent être développées de manière sûre et responsable. Les principes éthiques applicables doivent être observés et les risques potentiels pour la santé, la sécurité ou l'environnement doivent être étudiés scientifiquement dans la perspective d'une éventuelle réglementation. Les incidences sur la société doivent être analysées et prises en compte. Un dialogue avec le public est fondamental, afin de centrer le débat sur des préoccupations réelles plutôt que sur des scénarios de science-fiction.

La présente communication propose une série d'actions s'inscrivant dans une approche intégrée destinée à maintenir et à renforcer la place de la R&D européenne dans les nanosciences et les nanotechnologies. Elle aborde les questions qui sont déterminantes pour la création et l'exploitation au profit de la société des connaissances nées de la R&D. En effet, le moment est venu de lancer au niveau institutionnel un débat afin que des mesures cohérentes soient prises pour:

- accroître les investissements en faveur de la R&D et renforcer la coordination de ces activités afin d'intensifier l'exploitation industrielle des nanotechnologies, tout en maintenant le niveau de l'excellence scientifique et de la concurrence;
- mettre en place des infrastructures de R&D capables de soutenir la concurrence mondiale («pôles d'excellence») et tenant compte des besoins des industries et des organismes de recherche;

- promouvoir l’enseignement et la formation interdisciplinaires pour les personnels de recherche, et favoriser davantage l’esprit d’entreprise;
- ménager les conditions favorables au transfert de technologies et à l’innovation pour s’assurer que l’excellence européenne en matière de R&D se concrétise sous la forme de produits et de procédés générateurs de richesse;
- intégrer une réflexion concernant les incidences sur la société à un stade précoce du processus de R&D;
- aborder de manière franche les risques potentiels pour la santé publique, la sécurité, l’environnement ou les consommateurs en générant les données nécessaires à l’évaluation de ces risques, en intégrant l’évaluation des risques à toutes les étapes du cycle de vie des produits issus des nanotechnologies et en adaptant les méthodologies existantes ou, si nécessaire, en élaborant des méthodologies nouvelles;
- compléter les activités précitées par une coopération et des initiatives adaptées au niveau international.

Les actions décrites dans la présente communication s’inscrivent également dans le cadre des engagements pris par les Conseils européens de Lisbonne en 2000 – en faveur d’une économie et d’une société de la connaissance dynamiques – de Göteborg en 2001 – en faveur du développement durable – et de Barcelone en 2002 – en faveur d’un financement de la recherche équivalent à 3 % du PIB¹. En outre, elles contribuent à la mise en place de l’Espace européen de la recherche (EER)², et en bénéficient tout à la fois.

1. Introduction

1.1. Qu’entend-on par «nanotechnologies» ?

Tirant son origine du mot grec qui signifie «nain», le préfixe «nano-» désigne, dans le domaine scientifique et technologique, un milliardième (soit $10^{-9} = 0,000000001$) d’unité. Un nanomètre (nm) est un milliardième de mètre, c’est-à-dire une distance des dizaines de milliers de fois inférieure à l’épaisseur d’un cheveu humain. «Nanotechnologies» sera utilisé dans le présent document comme un terme collectif englobant les différentes branches des nanosciences et des nanotechnologies.

La définition des nanotechnologies renvoie aux activités scientifiques et technologiques menées à l’échelle atomique et moléculaire, ainsi qu’aux principes scientifiques et aux propriétés nouvelles qui peuvent être appréhendés et maîtrisés au travers de ces activités. Ces propriétés peuvent être observées et exploitées à l’échelle microscopique ou macroscopique, par exemple pour mettre au point des matériaux et des dispositifs dotés de fonctions et de performances nouvelles.

1.2. Pourquoi les nanotechnologies sont-elles importantes?

¹ Les conclusions de la présidence peuvent être téléchargées à partir de l’adresse suivante: <http://ue.eu.int/en/Info/eurocouncil/index.htm>

² Communication de la Commission: «L’espace européen de la recherche: un nouvel élan - Renforcer, réorienter, ouvrir de nouvelles perspectives» - COM (2002) 565 final

Les nanosciences sont souvent qualifiées de disciplines «horizontales», «clés» ou encore «habilitantes» car elles s’immergent dans pratiquement tous les autres secteurs technologiques. Elles réunissent fréquemment plusieurs disciplines scientifiques et tirent parti de démarches interdisciplinaires ou «convergentes». Elles devraient déboucher sur des innovations susceptibles de contribuer à la solution de bon nombre des problèmes qui se posent dans la société actuelle:

- des **applications médicales** comme, par exemple, des moyens diagnostiques miniaturisés qui pourraient être implantés en vue d’établir des diagnostics précoces des maladies. Les revêtements nanotechnologiques peuvent améliorer la bioactivité et la biocompatibilité des implants. Les échafaudages capables de s’auto-organiser ouvrent la voie à de nouvelles générations de matériaux pour l’ingénierie tissulaire et de matériaux biomimétiques, avec la perspective à long terme de synthétiser le remplacement d’organes. Des dispositifs inédits d’administration ciblée des médicaments sont en cours d’élaboration et on est par exemple, récemment parvenu à diriger des nanoparticules jusque dans des cellules tumorales afin de les traiter thermiquement;
- des **technologies de l’information**, et notamment des moyens de stockage de données présentant des densités d’enregistrement très élevées (par exemple, 1 téraoctet par pouce carré) et de nouvelles technologies pour des dispositifs d’affichage en matière plastique souples. A long terme, les activités de nanoélectronique moléculaire ou biomoléculaire, de spintronique et d’informatique quantique pourraient ouvrir des voies nouvelles au-delà de la technologie informatique telle qu’elle existe aujourd’hui;
- la **production et le stockage de l’énergie** peuvent bénéficier, par exemple, de nouveautés dans les piles à combustible ou les solides nanostructurés légers qui sont dotés d’un potentiel de stockage efficace de l’hydrogène. Des cellules solaires photovoltaïques efficaces et peu onéreuses (par ex. des peintures «photovoltaïques») sont également en cours d’élaboration. Des économies d’énergie sont envisagées grâce aux progrès de l’isolation, du transport et du rendement de l’éclairage rendus possibles par les nanotechnologies;
- les avancées dues aux nanotechnologies dans le domaine de la **science des matériaux** sont d’une portée considérable et devraient avoir des répercussions dans pratiquement tous les secteurs. Des nanoparticules sont d’ores et déjà utilisées pour renforcer des matériaux ou rendre des cosmétiques fonctionnels. Des nanostructures peuvent modifier des surfaces en les rendant, par exemple, inrayables, non mouillables, propres ou stériles. Le greffage sélectif de molécules organiques par nanostructuration de surface devrait avoir des incidences sur la fabrication de biocapteurs et de dispositifs d’électronique moléculaire. Les performances des matériaux en conditions extrêmes peuvent être considérablement améliorées et perfectionnées, au bénéfice, par exemple, des industries aéronautique et spatiale;
- la **fabrication** à l’échelle nanoscopique requiert une nouvelle approche interdisciplinaire tant au niveau de la recherche qu’au niveau des procédés de fabrication. Schématiquement, on peut distinguer deux démarches: la première consiste à miniaturiser des microsystèmes préexistants (approche dite «de haut en bas» ou «top-down»), la seconde imite la nature en recréant des structures à l’échelle atomique ou moléculaire (approche dite «de bas en haut» ou «bottom-

up»). La première s'apparente à de l'assemblage, la seconde à de la synthèse. L'approche «bottom-up» est encore peu avancée dans son développement mais sa portée potentielle est considérable puisqu'elle pourrait radicalement transformer les filières de production actuelles;

- **l'instrumentation** nécessaire à l'étude des propriétés de la matière à l'échelle nanoscopique a d'ores et déjà des effets directs et indirects importants qui sont à l'origine de progrès dans des secteurs très variés. L'invention du microscope à balayage à effet tunnel a marqué une étape dans la genèse de la nanotechnologie. L'instrumentation joue également un rôle essentiel dans la mise au point de procédés de fabrication «top-down» et «bottom-up» ;
- la recherche sur **l'alimentation, l'eau et l'environnement** va pouvoir progresser grâce à des nouveautés fondées sur les nanotechnologies, comme les outils permettant de détecter et de neutraliser la présence de micro-organismes ou de pesticides. La provenance des aliments importés pourrait être retrouvée par le biais d'un nano-marquage miniaturisé encore inédit. Des méthodes de remise en état basées sur les nanotechnologies (par exemple, des techniques photocatalytiques) permettront de réparer les dommages causés à l'environnement et de dépolluer des sites (par exemple, élimination d'hydrocarbures présents dans les eaux ou les sols);
- en matière de **sécurité**, on prévoit des progrès grâce, par exemple, à des systèmes de détection nouveaux caractérisés par une sélectivité élevée et permettant une alerte rapide en présence d'agents chimiques ou biologiques, même à l'échelle de la molécule. On pourrait renforcer la protection du patrimoine (les billets de banque, par exemple) en utilisant des nanomarqueurs. De nouvelles techniques de cryptographie pour la communication des données sont également en cours de développement.

Plusieurs produits issus des nanotechnologies sont déjà présents sur le marché: il s'agit de produits utilisés en médecine (bandages, valves cardiaques, par exemple), de composants électroniques, de peintures anti-rayures, d'équipements de sport, de tissus infroissables et anti-taches. Les analystes estiment que le marché pour ces produits représente actuellement environ 2,5 milliards d'euros mais qu'il pourrait atteindre plusieurs centaines de milliards d'euros d'ici à 2010, voire mille milliard ultérieurement³.

Ayant pour but d'obtenir de meilleurs résultats en utilisant moins de matières premières, en particulier par des procédés de fabrication «bottom-up», les nanotechnologies offrent la possibilité de réduire la quantité de déchets générés tout au long du cycle de vie des produits. Les nanotechnologies peuvent contribuer à la réalisation du développement durable⁴ ainsi que des objectifs énoncés dans «Agenda 21»⁵ et dans le plan d'action en faveur des écotechnologies⁶.

³ Voir, par exemple, les chiffres présentés dans «New Dimensions for Manufacturing: A UK Strategy for Nanotechnology», DTI (2002), page 24.

⁴ «Développement durable en Europe pour un monde meilleur: stratégie de l'Union européenne en faveur du développement durable», COM(2001) 264. Voir également la Déclaration du millénaire des Nations unies (<http://www.un.org/millennium/>)

⁵ Voir <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/index.htm>

⁶ Voir COM (2004) 38 final

1.3. Quelle démarche adopter pour garantir l'innocuité des nanotechnologies?

Conformément au traité, les applications de nanotechnologies devront satisfaire à l'exigence d'un niveau élevé de protection de la santé, de la sécurité, des consommateurs⁷ et de l'environnement⁸. Face à l'évolution rapide de cette technologie, il importe de recenser les problèmes de sécurité (réels ou perçus) et d'y apporter une réponse le plus précocement possible. Pour que l'exploitation des nanotechnologies soit un succès, elle doit s'appuyer sur de solides bases scientifiques propres à susciter la confiance des consommateurs et des marchés. En outre, toutes les mesures devraient être prises en matière d'hygiène et de sécurité sur les lieux de travail.

Il est essentiel d'aborder de manière franche les différentes formes de risques et d'intégrer cette démarche aux différentes phases de développement des technologies – de la conception et des activités de R&D jusqu'à l'exploitation commerciale – afin de garantir l'innocuité des produits issus des nanotechnologies au cours de leur élaboration, production, utilisation et élimination. Les nanotechnologies présentent également des défis nouveaux en ce qui concerne l'évaluation et la gestion des risques. Il est donc important que, parallèlement au développement technologique, soient menées des actions de R&D permettant de rassembler des données quantitatives toxicologiques et écotoxicologiques (y compris des données concernant la relation dose-effet et l'exposition chez l'homme et dans l'environnement) qui pourront être utilisées pour réaliser des évaluations de risques et, si nécessaire, pour adapter les procédures d'évaluation. Des actions concernant la protection de la santé publique, de l'environnement, de la sécurité et des consommateurs sont exposées dans la suite du document.

2. Le financement et les activités en faveur de la R&D sur les nanotechnologies dans le monde

Eu égard au potentiel que recèlent les nanotechnologies, de nombreux pays se sont dotés de programmes de R&D prévoyant des niveaux d'investissement public élevés et en croissance rapide dans ce domaine. Au cours de la dernière décennie, l'intérêt suscité par les nanotechnologies a subitement grandi, comme en témoigne la montée en flèche de l'investissement public, qui est passé de 400 millions d'euros environ en 1997 à plus de 3 milliards d'euros aujourd'hui. La présente section donne une vue d'ensemble des initiatives bénéficiant de fonds publics dans le domaine des nanotechnologies.

Bien qu'on ne puisse pas chiffrer avec exactitude la part du secteur privé dans le financement de la recherche en nanotechnologies, on l'estime à près de 2 milliards d'euros, ce qui suppose un investissement global total dans ce domaine de recherche proche de 5 milliards d'euros. Dans ce contexte, il est important de souligner que,

⁷ Les articles 152 et 153 du traité imposent, respectivement, qu'un «niveau élevé de protection de la santé humaine [soit] assuré dans la définition et la mise en œuvre de toutes les politiques et actions de la Communauté» et que «les exigences de la protection des consommateurs [soient] prises en compte dans la définition et la mise en œuvre des autres politiques et actions de la Communauté».

⁸ L'article 174 du traité énonce, entre autres, les objectifs de «la préservation, la protection et l'amélioration de la qualité de l'environnement», de «l'utilisation prudente et rationnelle des ressources naturelles» et de «la promotion, sur le plan international, de mesures destinées à faire face aux problèmes régionaux ou planétaires de l'environnement».

avec une contribution du secteur privé représentant 56 % du total de l'investissement en faveur de la R&D, l'UE est en retard par rapport aux États-Unis et au Japon, où les sources de financement privées représentent respectivement 66 % et 73 %⁹.

2.1. La R&D sur les nanotechnologies dans les pays tiers

Avec la «National Nanotechnology Initiative» (NNI) inaugurée en 2000, les États-Unis se sont lancés dans un ambitieux programme de R&D sur les nanotechnologies impliquant une augmentation des dépenses. Elles sont passées au niveau fédéral de 220 millions de dollars en 2000 à près de 750 millions de dollars en 2003, et une demande de crédits atteignant 982 millions de dollars est prévue pour 2005. Un soutien financier supplémentaire sera accordé par les États à concurrence de 300 millions environ.

L'engagement à long terme du budget fédéral américain a récemment été confirmé par le «21st Century Nanotechnology Development Act», disposition qui prévoit d'allouer, durant la période 2005-2008, près de 3,7 milliards de dollars à cinq agences (NSF, DoE, NASA, NIST et EPA) dont le niveau de financement aura ainsi plus que doublé en 2008. Il faut noter que ces chiffres ne comprennent pas les dépenses en faveur de la défense (DoD) et d'autres secteurs d'activités qui représentent actuellement environ un tiers du budget fédéral consacré aux nanotechnologies.

En 2001, le Japon a désigné les nanotechnologies comme l'une de ses principales priorités de recherche. Les niveaux de financement annoncés ont brusquement grimpé de 400 millions de dollars en 2001 à environ 800 millions dollars en 2003 – surpassant la contribution fédérale américaine – et doivent encore augmenter de 20 % en 2004. La Corée du Sud s'est lancée dans un ambitieux programme décennal prévoyant un financement public d'environ 2 milliards de dollars, tandis que Taïwan a engagé environ 600 millions de dollars de fonds publics sur six ans.

La Chine consacre de plus en plus de ressources aux nanotechnologies, ce qui est particulièrement significatif compte tenu de son pouvoir d'achat. Sa part dans les publications internationales augmente à un rythme rapide – le taux de croissance était de 200 % à la fin des années 90 – et rattrape celle de l'UE et des États-Unis. La Fédération de Russie est en bonne position dans le domaine des nanotechnologies, de même que plusieurs Nouveaux États indépendants.

De nombreuses autres régions et pays – parmi lesquels l'Australie, le Canada, l'Inde, Israël, l'Amérique latine, la Malaisie, la Nouvelle-Zélande, les Philippines, Singapour, l'Afrique du Sud et la Thaïlande – accordent une attention croissante aux nanotechnologies.

2.2. La R&D sur les nanotechnologies en Europe

L'Europe a très vite reconnu le potentiel qu'offraient les nanotechnologies et a établi une solide base de connaissances en nanosciences avec le concours de quelques-uns des plus brillants spécialistes dans ce domaine. Plusieurs pays y ont consacré des programmes de recherche depuis le milieu ou la fin des années 90. Bien que certains

⁹ Commission européenne, «Chiffres clés 2003-2004» (2003)

pays n'aient pas lancé d'initiatives spécifiques dans le domaine des nanotechnologies, la R&D correspondante est souvent intégrée à d'autres programmes (par exemple, biotechnologie, microtechnologie, etc.).

Si l'on compare l'Europe, le Japon et les États-Unis, on ne peut désigner de «vainqueurs» ou de «perdants» dans la course aux nanotechnologies, mais on peut néanmoins dégager certaines tendances. La vigueur de l'Europe dans le domaine des nanosciences est démontrée par le fait qu'en 1997-1999 la part de l'UE dans les publications internationales était de 32 %, contre 24 % pour les États-Unis et 12 % pour le Japon¹⁰. Cependant, l'industrie ne semble pas toujours exploiter suffisamment ces connaissances. Une analyse des brevets déposés au niveau mondial montre que la part de l'UE n'est que de 36 %, alors que celle des États-Unis est de 42 %, ce qui prouve une lacune dans le processus de transformation de la R&D en applications.

Les niveaux de l'investissement public varient considérablement d'un État membre de l'UE à l'autre tant en termes absolus qu'en termes relatifs (voir l'annexe). Selon les estimations, le niveau du financement public de la R&D sur les nanotechnologies en Europe est passé d'environ 200 millions d'euros en 1997 à environ 1 milliard d'euros aujourd'hui, les deux tiers environ de ces montants provenant de programmes nationaux et régionaux.

En chiffres absolus des dépenses publiques, l'UE investit actuellement des sommes importantes, comparables aux niveaux atteints par les États-Unis et le Japon. Cependant, rapporté au nombre d'habitants, l'investissement public moyen dans l'UE-25 est de 2,4 euros par personne (2,9 euros dans l'UE-15), alors qu'il est de 3,7 euros aux EU et de 6,2 euros au Japon. De même, ramené au PIB, l'investissement est de 0.01% dans l'UE-25, comparé à 0.01% et 0.02% aux États-Unis et au Japon respectivement.

À l'heure actuelle, les 25 États membres de l'UE, à l'exception de l'Irlande, affichent tous un niveau d'investissement par habitant inférieur à celui des États-Unis ou du Japon. Sans compter les accroissements prévus dans ces deux pays, qui doivent porter les niveaux d'investissement à 5 euros par habitant en 2006 pour le premier et à 8 euros en 2004 pour le second. Il est donc probable que l'écart entre l'UE et ses principaux concurrents continuera de se creuser.

L'une des caractéristiques essentielles qui différencie l'UE de ses principaux concurrents est le risque que, dans une certaine mesure, le paysage de la R&D européenne sur les nanotechnologies se morcelle du fait de la coexistence de programmes et de sources de financement disparates en rapide évolution. La contribution communautaire au titre du 6^e programme-cadre (6^e PC) était de 350 millions d'euros en 2003, ce qui représente environ un tiers du total des dépenses européennes en faveur des nanotechnologies.

La situation de nos principaux concurrents se caractérise par l'existence de programmes de R&D coordonnés et/ou centralisés pour les nanotechnologies. Aux États-Unis, par exemple, plus des deux tiers des fonds sont accordés dans le cadre de

¹⁰

«Troisième rapport européen sur les indicateurs de la science et de la technologie», Commission européenne 2003 http://www.cordis.lu/indicators/third_report.htm

la «National Nanotechnology Initiative» chapeautée par le programme fédéral. Il est peu probable que l'UE puisse rester compétitive au niveau mondial si elle ne cible et ne coordonne pas mieux son action à l'échelle communautaire.

Des travaux de recherche sur les nanotechnologies sont en cours dans les pays candidats à l'adhésion, qui sont d'ailleurs impliqués dans des projets relevant des programmes-cadres communautaires en matière de recherche et de développement technologique. La Suisse a une longue tradition de R&D dans ce domaine et affiche l'un des niveaux de dépôt de brevets et de publications par habitant les plus élevés. Des programmes de recherche sur les nanotechnologies ont également été établis dans d'autres pays associés aux activités du 6^e PC, tels que la Norvège.

De nombreux projets de recherche collaborative et d'autres initiatives ont déjà été financés au titre des programmes-cadres communautaires. Ces projets apportent une dimension européenne importante à travers les collaborations internationales sur lesquelles ils reposent et catalysent un accroissement considérable des financements nationaux et privés. Même si les quatrième et cinquième programmes-cadres avaient déjà financé un bon nombre de projets¹¹ dans le domaine des nanotechnologies, il aura fallu attendre le 6^e PC¹² pour que celles-ci figurent au rang des principales priorités.

3. La voie de l'infiniment petit: cinq axes dynamiques pour stimuler les progrès

Dans le contexte du marché mondial actuel, la croissance économique réclame de l'innovation, qui est elle-même tributaire de la recherche. La R&D de niveau mondial joue un rôle essentiel dans ce processus, mais d'autres facteurs doivent également être pris en compte. À cet égard, cinq axes dynamiques ont été recensés: la R&D, les infrastructures, l'éducation et la formation, l'innovation, et la dimension sociale. Une série d'activités synergiques doivent être menées au niveau communautaire autour de tous ces axes dynamiques afin de tirer parti du potentiel existant dans l'Espace européen de la recherche.

La nécessité d'une approche intégrée de ce type pour la R&D sur les nanosciences et les nanotechnologies figurait au nombre des principales conclusions de la rencontre «EuroNanoForum2003»¹³ organisée par la DG «Recherche» (DG RTD) en décembre 2003 et à laquelle ont participé plus de 1000 personnes venues du monde entier. Parmi les récentes initiatives de la Commission, on peut également citer un séminaire organisé par la DG «Santé et protection des consommateurs» (DG SANCO), qui s'est tenu en mars 2004, sur les risques potentiels associés aux nanotechnologies¹⁴. D'autres initiatives lancées par la DG RTD et le Centre commun de recherche (CCR), concernant par exemple des échéanciers et des activités de prospective, sont en cours.

3.1. Recherche et développement: passer à la vitesse supérieure

¹¹ Pour de plus amples informations, consulter la base de données sur les projets à l'adresse: <http://www.cordis.lu/fp6/projects.htm>

¹² Voir <http://fp6.cordis.lu/fp6/home.cfm>

¹³ Pour de plus amples informations, voir <http://fp6.cordis.lu/fp6/home.cfm>

¹⁴ Pour de plus amples informations, voir <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/index.htm>

Compte tenu des défis intellectuels, scientifiques et techniques qu'il va falloir relever dans le domaine des nanosciences et des nanotechnologies, l'excellence en matière de R&D est une condition essentielle si l'Europe veut rester compétitive à long terme. À cet égard, le financement de la R&D par des fonds publics ainsi que la disponibilité de chercheurs de rang mondial et la concurrence entre les équipes de recherche à l'échelon européen sont des facteurs fondamentaux.

Parallèlement, les connaissances générées par la R&D doivent être transformées par le biais des nanotechnologies en produits et procédés innovants susceptibles d'améliorer la compétitivité de l'industrie européenne. Dans ce contexte, il importe non seulement de maintenir le niveau d'excellence en R&D mais également d'intensifier les investissements dans les activités de recherche utiles à l'industrie, tout en consolidant la R&D au niveau communautaire et en renforçant les politiques nationales afin d'atteindre une masse critique.

3.1.1. Accroître l'investissement en faveur des connaissances pour améliorer la compétitivité de l'Europe

Pour créer de la richesse et de nouveaux emplois dans un marché mondialisé et au sein d'une économie de la connaissance, il est essentiel de pouvoir produire de façon compétitive des connaissances nouvelles. La R&D européenne ne doit pas seulement être excellente; elle doit également être menée en temps opportun et à un coût global compétitif. À défaut, les activités industrielles risquent d'être délocalisées vers des régions où la production de connaissances est plus rentable. Si nous parvenons à nous placer en tête dans le secteur de la production des connaissances, il sera alors possible de renverser la tendance actuelle et d'attirer en Europe des industries de la connaissance.

L'investissement public en faveur de la R&D sur les nanotechnologies en Europe risque de se réduire considérablement au cours des cinq prochaines années, ce qui ne sera pas le cas chez nos principaux concurrents. La menace d'une perte de vitesse plane au-dessus de nous si l'investissement n'est pas massivement accru – c'est-à-dire multiplié par un facteur 3 au moins d'ici à 2010 – compte tenu des objectifs de Lisbonne. Un tel investissement ne devrait pas être consenti au détriment d'autres programmes de R&D mais en conformité avec l'objectif des «3 %»¹⁵, et il devrait bénéficier en priorité aux secteurs où les défis sont les plus grands, et notamment l'innovation industrielle fondée sur la connaissance («nanofabrication»), l'intégration au niveau de l'interface macro-micro-nano et la R&D interdisciplinaire («convergente»). Une synergie adaptée avec la stratégie européenne sur les sciences du vivant et la biotechnologie¹⁶ pourrait également être utile.

L'investissement en faveur de la R&D devrait être accru au niveau communautaire comme au niveau national, de façon complémentaire et synergique. Les projets de recherche collaborative à l'échelle européenne sont essentiels pour mobiliser les compétences et la masse critique nécessaires à de nouvelles avancées en matière d'excellence. C'est un aspect particulièrement important si l'on veut accélérer les progrès des nanotechnologies grâce à des activités de R&D interdisciplinaire. Dans ce contexte, il convient de centrer son attention sur la synergie entre les trois

¹⁵ «Plus de recherche pour l'Europe: objectif - 3 % du PIB», COM(2002) 499 final

¹⁶ «Sciences du vivant et biotechnologie - Une stratégie pour l'Europe», COM(2002) 27

éléments indissociables que sont la recherche, les infrastructures et l'enseignement. Une telle «approche systémique» est propre non seulement à dynamiser la production de connaissances, mais également à attirer et à retenir en Europe les plus brillants esprits dans le domaine de la R&D sur les nanotechnologies.

3.1.2. Recherche au niveau communautaire

Les activités de recherche menées au niveau communautaire dans des conditions de concurrence et de transparence constituent des leviers essentiels pour stimuler et soutenir une R&D de rang mondial dans l'Espace européen de la recherche (EER). Outre la mise en commun des connaissances, ces activités permettent également de réunir les meilleures équipes travaillant dans des disciplines différentes et offrent une interface entre les entreprises et les universités, ce qui garantit une participation dynamique au processus de la R&D interdisciplinaire au profit des nanotechnologies.

Un nombre important de projets de recherche dans le domaine des nanotechnologies ont déjà été financés au titre des programmes-cadres de l'UE. Bien que des progrès considérables aient été enregistrés en ce qui concerne le niveau d'excellence de la R&D, il aura fallu attendre le 6^e PC pour que soit reconnu le rôle clé des nanotechnologies et que les activités de recherche correspondantes soient regroupées en un seul domaine thématique prioritaire, permettant ainsi à la Commission de résoudre le problème de la dispersion, de la duplication et de la fragmentation. Deux nouveaux instruments - les projets intégrés (IP) et les réseaux d'excellence (NoE) - ont été introduits et sont complétés par une gamme d'autres instruments et actions¹⁷, parmi lesquels des projets intégrés réservés aux PME.

Depuis le lancement des premiers appels de propositions, plus de 20 projets intégrés et réseaux d'excellence pour la R&D dans le domaine des nanosciences et des nanotechnologies ont été sélectionnés et ont fait l'objet de négociations. Les projets intégrés visent à former une masse critique des participants et des fonds en vue de poursuivre un objectif spécifique. Ils intègrent tous les aspects, techniques et non techniques, du processus de R&D et sont propres à ménager la transition entre nanosciences et nanotechnologies en rapprochant la communauté scientifique des milieux industriels.

Les plates-formes technologiques européennes sont un concept nouveau dont le but est de mettre en présence toutes les parties intéressées pour élaborer une vision commune à long terme, mettre en place des échéanciers, garantir un financement à long terme et élaborer une approche cohérente de la gouvernance. Ce concept pourrait constituer la réponse appropriée à la nécessité d'une synergie et d'une coordination accrues entre les diverses parties prenantes d'un domaine technologique spécifique.

3.1.3. Coordination des politiques nationales

Les politiques et les programmes nationaux et régionaux occupent une place importante dans le financement de la R&D sur les nanotechnologies en Europe. Il est néanmoins admis que les capacités nationales s'avèrent souvent insuffisantes pour créer des pôles d'excellence d'envergure mondiale. Il est donc urgent que ces

¹⁷

Lire à l'adresse <http://fp6.cordis.lu/fp6/home.cfm> la description de toute la gamme d'instruments prévue par le 6^e PC.

programmes soient coordonnés de façon à consolider et à concentrer les efforts afin d'obtenir une masse critique et un plus grand impact dans l'EER sur les trois principaux axes synergiques que sont la recherche, les infrastructures et l'enseignement.

Afin de stimuler l'exploitation des nanotechnologies sous la forme d'applications et de renforcer et rentabiliser le caractère interdisciplinaire de la R&D dans ce domaine, il importe que les programmes nationaux, qui (souvent) privilégient des disciplines et des options différentes, soient coordonnés de façon à concentrer les efforts en vue d'obtenir une masse critique dans la R&D appliquée et à combiner des compétences scientifiques diverses. Cela contribuerait à garantir une exploitation rapide des connaissances sous la forme d'innovations dans toutes les régions d'Europe.

Des initiatives telles que la méthode ouverte de coordination (OMC)¹⁸ et ERA-NET¹⁹ peuvent stimuler et favoriser la coordination de programmes et d'activités conjointes menés au niveau national ou régional, ou encore au sein d'organismes européens. De telles initiatives peuvent s'accompagner d'activités d'étalonnage des performances permettant de mesurer les progrès réalisés.

3.1.4. Échéanciers et activités de prospective

Les échéanciers technologiques offrent un moyen de définir les résultats attendus et d'évaluer les progrès dans le domaine des nanotechnologies, ainsi que de suivre leur évolution vers des phases de développement industriel plus avancées. La préparation des échéanciers est un processus qui présente un intérêt en lui-même puisqu'il amène toutes les parties prenantes à interagir et à réfléchir sur les évolutions, les difficultés, les incidences et les besoins futurs éventuels. Cependant, l'élaboration d'un échéancier général pour les nanotechnologies n'est pas réaliste compte tenu de l'étendue du domaine. Cette pratique devrait plutôt se limiter aux secteurs du marché ayant atteint une maturité suffisante. Plusieurs de ces échéanciers sont en préparation; des instituts tels que l'Institut de prospective technologique (IPTS) du CCR peuvent y apporter une précieuse contribution.

A l'appui des outils stratégiques que sont les échéanciers, la prospective joue un rôle appréciable lorsqu'il s'agit d'anticiper les évolutions futures et de planifier les actions en conséquence. Le caractère potentiellement perturbateur des nanotechnologies confère à la prospective une importance particulière dans les cas où leurs incidences sociales potentielles doivent être analysées. Dans cette optique, une méthodologie spécifique doit être suivie et un groupe indépendant d'experts de haut niveau est en cours de constitution pour travailler sur le thème de l'«examen prospectif de la nouvelle vague technologique: la convergence des nano, bio et infotechnologies et leurs incidences sur la société et la concurrence en Europe».

Actions: Un Espace européen de la recherche pour les nanotechnologies

1. Pour rester à la pointe des nanosciences et des nanotechnologies, l'UE doit consolider les engagements pris en faveur de la R&D. Tout en veillant à la synergie

¹⁸ Au sens donné dans les conclusions de la présidence du Conseil européen de Lisbonne en 2000 <http://ue.eu.int/>

¹⁹ Voir <http://www.cordis.lu/coordination/home.html>

des programmes adoptés au niveau national, la Commission invite les États membres à:

- a) accroître substantiellement – en le multipliant par 3 d’ici à 2010 – l’investissement public en faveur des nanosciences et des nanotechnologies d’une façon cohérente et coordonnée, en tenant compte des objectifs de Lisbonne et de la cible des «3 %» ;
- b) promouvoir l’excellence dans les nanosciences en stimulant la concurrence au niveau européen;
- c) dynamiser la R&D sur les nanotechnologies en vue de produire des applications génératrices de richesse, en mettant l’accent sur la participation des PME;
- d) maintenir un certain degré de concentration des activités de R&D dans le prochain programme-cadre de façon à atteindre une masse critique et une synergie dans le développement des nanosciences, des nanotechnologies, des activités d’ingénierie associées et des aspects de sécurité;
- e) assurer une coordination effective des programmes nationaux;
- f) intensifier, au niveau européen, les efforts en ce qui concerne les échéanciers et la prospective grâce au concours de centres d’excellence et d’instituts tels que l’IPTs.

3.2. Infrastructures: créer des «pôles d’excellence» européens

On entend par «infrastructures» les installations et ressources qui fournissent des services essentiels à la communauté des chercheurs. Les infrastructures de recherche peuvent être «à site unique» (situées dans un lieu unique), «réparties» (un réseau de ressources réparties) ou «virtuelles» (le service étant assuré par voie électronique). Le développement des nanotechnologies est de plus en plus tributaire d’équipements et d’instruments de pointe, qui jouent également un rôle essentiel pour démontrer que les résultats de la R&D peuvent devenir des produits et des procédés potentiellement générateurs de richesse.

Pour accélérer le développement des nanosciences et des nanotechnologies, il est indispensable d’investir dans une vaste gamme d’installations, d’instruments et d’équipements sophistiqués. En raison de sa nature interdisciplinaire et complexe, l’investissement en faveur de ce type d’infrastructures doit souvent être réparti entre plusieurs organismes, à l’échelle locale, régionale, nationale et dans le secteur privé. Il s’avère utile de classer les infrastructures selon trois niveaux d’investissement différents, à savoir:

- investissement atteignant quelques dizaines de millions d’euros, généralement à l’échelle locale ou régionale – par exemple, les centres de recherche interdisciplinaire sur les nanotechnologies («Interdisciplinary Research Centres in Nanotechnology») au Royaume-Uni et les centres de compétences en nanotechnologies («Nanotechnologie-Kompetenzzentren») mis en place en Allemagne;
- investissement atteignant 200 millions d’euros, généralement à l’échelle nationale: le MINATEC en France, l’IMEC en Belgique et le MC2 en Suède

constituent de bons exemples et sont des centres qui ont acquis une notoriété tant européenne que mondiale;

- investissement dépassant 200 millions d'euros: aucune installation de cette ampleur réservée aux nanotechnologies n'existe actuellement dans l'UE, mais des travaux sont en cours dans des pays tiers²⁰.

Les infrastructures existantes ne satisfont pas toujours aux exigences de l'industrie. Cette inadéquation peut se manifester au niveau de la gestion, de la situation géographique, en termes de facilité d'accès, ou en raison de difficultés à s'entendre sur les conditions d'octroi des droits de propriété intellectuelle (DPI). Des solutions telles que les «laboratoires ouverts», facilement accessibles à l'industrie, sont très utiles mais très rarement mises en œuvre. Les PME, en particulier, souffrent souvent d'un manque de fonds propres et pourraient tirer considérablement parti d'un tel accès pour accélérer le processus de la R&D et réduire le délai de mise sur le marché.

3.2.1. Des nouveaux «pôles d'excellence» pour l'Europe

Il y a un besoin urgent d'infrastructures de dimension et d'intérêt européens («pôles d'excellence») pour les nanosciences et les nanotechnologies. Outre qu'elles offriraient un accès à des équipements de pointe qui ne sont peut-être pas disponibles à l'échelle locale. Ces infrastructures permettraient de regrouper tous les aspects de la R&D interdisciplinaire, de l'enseignement et du prototypage. Elles pourraient également englober des partenariats public-privé et servir d'incubateurs pour de nouvelles «start-up» et entreprises créées par essaimage.

Pour atteindre la masse critique nécessaire, nous devons concentrer nos ressources sur un nombre limité d'infrastructures en Europe. La nanoélectronique, la nanobiotechnologie et les nanomatériaux figurent parmi les secteurs qui peuvent tirer avantage d'une synergie mutuelle. Cependant, il convient de trouver un équilibre entre la nécessité de limiter la fragmentation et la duplication, et la nécessité de garantir le jeu de la concurrence et, de là, l'excellence en matière de R&D.

Il faut également parvenir à équilibrer les infrastructures européennes, nationales et régionales. A long terme, le développement de centres multiples et/ou répartis peut constituer un outil important pour maintenir un niveau de concurrence adéquat. Les plates-formes technologiques européennes, ainsi que des organismes tels que le Forum stratégique européen sur les infrastructures de recherche (ESFRI), peuvent apporter une contribution utile à la définition d'une approche optimale.

3.2.2. L'initiative de croissance

Dans la communication intitulée «Une initiative européenne pour la croissance - Investir dans les réseaux et la connaissance pour soutenir la croissance et l'emploi»²¹, la Commission expose un projet de grande ampleur élaboré en collaboration avec la Banque européenne d'investissement (BEI). Pour amorcer le mouvement, un

²⁰ On peut citer, par exemple, le «California Nanosystems Institute», qui est en cours de réalisation moyennant un investissement d'environ 300 millions de dollars financé par des fonds provenant du budget fédéral, des États et du secteur privé (voir <http://www.cnsi.ucla.edu/mainpage.html>)

²¹ «Une initiative européenne pour la croissance - Investir dans les réseaux et la connaissance pour soutenir la croissance et l'emploi», COM(2003)690

programme «Quick start» a été proposé pour lequel on prévoit un financement combinant des fonds provenant essentiellement de prêts bancaires (par le biais de l'initiative «Innovation 2010» de la BEI) et de sources (industrielles) privées.

Les infrastructures de nanoélectronique figurent parmi les secteurs d'investissement visés par la première vague des projets «Quick start» proposés. Un autre secteur est celui de la prochaine génération de lasers (par exemple, les lasers à électrons libres) qui offre notamment la possibilité de prendre des instantanés de la structure atomique d'une molécule. De telles installations présentent un intérêt inestimable pour le développement des nanosciences et des nanotechnologies, et il conviendrait de rechercher des synergies avec d'autres actions de ce type au niveau européen et national.

Actions: Infrastructures

2. La création d'infrastructures de rang mondial («pôles d'excellence») présentant des dimensions et un intérêt européens est une condition essentielle pour que l'UE puisse renforcer sa compétitivité en matière de R&D dans les nanosciences et les nanotechnologies. La Commission invite les États membres à:

a) mettre en place un système cohérent d'infrastructures de R&D en tenant compte des besoins des parties prenantes, et en créant notamment des synergies avec la sphère de l'enseignement;

b) prendre des mesures afin de maximiser la valeur ajoutée des infrastructures existantes en tenant compte des besoins de l'industrie, et des PME en particulier;

La Commission souligne la nécessité de:

c) analyser et localiser les infrastructures existantes afin de recenser les besoins les plus urgents en termes d'accélération des progrès des nanotechnologies, en particulier au niveau de la R&D interdisciplinaire;

d) construire, le cas échéant, de nouvelles infrastructures européennes consacrées aux nanotechnologies, susceptibles de mobiliser la masse critique suffisante, tout en tenant compte des besoins de l'industrie;

e) étudier la possibilité d'une synergie financière avec la Banque européenne d'investissement, le Fonds européen d'investissement et les Fonds structurels.

3.3. Investir dans les ressources humaines

Pour concrétiser le potentiel que recèlent les nanotechnologies, l'UE doit disposer d'une communauté de chercheurs et d'ingénieurs pluridisciplinaires capable de produire des connaissances et de veiller qu'elles soient ensuite transférées vers l'industrie. Afin d'évaluer et de gérer correctement les risques que présentent les nanotechnologies pour la santé humaine, l'UE a également besoin de toxicologues et de spécialistes en évaluation des risques qui soient correctement formés. Les nanotechnologies, domaine d'activités récent et dynamique, constituent une occasion unique d'attirer davantage de jeunes scientifiques et d'autres personnels qualifiés vers les carrières de la recherche.

Selon un rapport récent²², on compte 5,68 chercheurs en activité pour 1000 actifs en Europe, contre 8,08 aux États-Unis et 9,14 au Japon. Étant donné le niveau de ressources humaines nécessaire pour atteindre l'objectif des «3 % d'ici à 2010» fixé à Lisbonne, on peut estimer le déficit en Europe à environ 1,2 million de personnels de recherche (dont 700 000 chercheurs)²³. Il est essentiel que des mesures soient prises pour attirer et retenir des chercheurs en Europe, et notamment en puisant dans la réserve sous-exploitée des femmes scientifiques.

3.3.1. Attirer les jeunes vers les «nano»

Une composante essentielle de l'approche exposée ici est l'encouragement de la jeunesse à participer très tôt au débat scientifique. Des expériences relevant de l'anecdote montrent bien que la probabilité pour un jeune de poursuivre une carrière scientifique dépend largement de la capacité des enseignements, des parents et des médias à lui communiquer le plaisir de la découverte, comme l'a expliqué le lauréat du prix Nobel Richard Feynman. Des concepts simples en nanotechnologies peuvent être présentés par le biais d'expérimentations et de démonstrations scientifiques pratiques.

Les nanotechnologies conviennent bien à l'enseignement secondaire dans la mesure où il s'organise généralement de façon intégrée et non par discipline. Il est néanmoins essentiel que les jeunes se fassent une idée non seulement de ce qu'est la recherche mais également de ce que *font* les chercheurs. Présenter la recherche comme une possibilité de carrière enthousiasmante, sérieuse et offrant de nombreux débouchés devrait amener les étudiants à choisir en connaissance de cause. Des initiatives telles que l'«année européenne des chercheurs» sont utiles à cet égard²⁴.

3.3.2. Dépasser le cloisonnement des disciplines

Les universités jouent un rôle central dans le développement de l'Europe de la connaissance²⁵. Les nanotechnologies mettent beaucoup l'accent sur la démarche interdisciplinaire. On peut imaginer des cours où les étudiants de premier et deuxième cycle continueraient de recevoir une formation de base dans toute une gamme de disciplines, indépendamment du niveau d'études suivi. On devrait faire ainsi des futures générations de chercheurs en nanotechnologies des «spécialistes à l'esprit large» capables d'interagir avec leurs homologues dans d'autres disciplines. La «formation par la recherche» de nature pratique pourrait devenir un outil essentiel en nanotechnologies.

De nouvelles formes de formation, dépassant le cloisonnement traditionnel des disciplines devraient être envisagées en ce qui concerne les nanotechnologies, en vue de dispenser un enseignement interdisciplinaire ciblé de rang mondial au niveau universitaire et supérieur. De nouvelles approches, susceptibles d'attirer des financements publics et privés, ainsi que d'autres formes de collaboration entre les universités et les entreprises devraient également être envisagées (par exemple, des

²² Commission européenne, «Chiffres clés 2003-2004» (2003), p. 44. Les chiffres sont donnés pour l'année 2001 dans l'UE, pour 1997 aux États-Unis et pour 2002 au Japon.

²³ «Investir dans la recherche: un plan d'action pour l'Europe», COM(2003) 226

²⁴ «Les chercheurs dans l'espace européen de la recherche: une profession, des carrières multiples», COM(2003) 436

²⁵ «Le rôle des universités dans l'Europe de la connaissance», COM(2003) 58

«start-up» universitaires et des universités financées par capital-risque). Ces approches pourraient être développées dans le cadre de «pôles d'excellence» européens (voir l'action 2), ce qui offrirait aux étudiants une occasion unique d'acquérir une expérience pratique dans la recherche de pointe.

3.3.3. Des chercheurs et des ingénieurs ayant l'esprit d'entreprise

Les carrières scientifiques ont récemment suscité l'attention au niveau européen et un certain nombre de faiblesses ont été mises en lumière concernant, notamment, les méthodes de recrutement, les conditions de travail et les différences entre les perspectives de carrière des hommes et celles des femmes²⁶. En particulier, les obstacles à la mobilité des chercheurs et des ingénieurs entre le secteur scientifique et le secteur industriel (c'est-à-dire l'évaluation des carrières à l'aune des publications ou des dépôts de brevets) suscitent des préoccupations et pourraient être préjudiciables au transfert de technologies et à l'innovation dans le domaine des nanotechnologies.

Dans l'optique d'une société de la connaissance dynamique, l'opinion selon laquelle la formation prend fin lorsque l'emploi commence est contre-productive, comme le démontre le plan d'action en matière de compétences et de mobilité²⁷. Les nanotechnologies sont un domaine dynamique dans lequel une formation permanente est nécessaire afin de pouvoir en suivre les évolutions. À mesure qu'on se rapproche de l'entrée sur le marché, il importe de satisfaire les besoins en formation concernant l'aide à la création de «start-ups» ou d'entreprises créées par essaimage, la gestion des portefeuilles de DPI, la sécurité et les conditions de travail (y compris l'hygiène et à la sécurité sur le lieu de travail), et autres compétences complémentaires, afin de placer les innovateurs en meilleure position pour obtenir un financement et faire avancer leurs initiatives.

Actions: Investir dans les ressources humaines

3. La Commission invite les États membres à contribuer à:

- a) recenser les besoins en matière d'enseignement pour les nanotechnologies et fournir des exemples de bonnes pratiques et/ou des résultats d'études pilotes;
- b) encourager la définition et la mise en pratique de cours et programmes, formations des enseignants et matériels pédagogiques nouveaux pour la promotion d'approches interdisciplinaires des nanotechnologies dans les établissements scolaires et universitaires;
- c) intégrer des compétences complémentaires dans les formations universitaires supérieures et tout au long de la vie, par exemple sur les thèmes de l'esprit d'entreprise, de l'hygiène et de la sécurité au travail, du dépôt de brevets, des mécanismes d'essaimage, de la communication, etc.

La Commission estime que l'occasion est bonne pour:

²⁶ «Les chercheurs dans l'espace européen de la recherche: une profession, des carrières multiples», COM(2003) 436

²⁷ «Réaliser un espace européen de l'éducation et de formation tout au long de la vie», COM(2001) 678, et «Plan d'action de la Commission en matière de compétences et de mobilité», COM(2002) 72

d) étudier la faisabilité d'un appel de propositions Marie Curie conjoint²⁸ dans le domaine des nanosciences et des nanotechnologies;

e) créer un «prix européen des nanotechnologies», qui contribuerait à encourager la vision interdisciplinaire et l'esprit d'entreprise des chercheurs.

3.4. Innovation industrielle, passer des connaissances à la technologie

Sur le marché mondialisé actuel, la réussite économique à long terme est de plus en plus tributaire de la production, de la gestion et de l'exploitation des connaissances. La production de connaissances nécessite un investissement dans la R&D et l'innovation industrielle a elle aussi besoin de connaissances pour générer de la richesse. Ainsi, la boucle est bouclée et des capitaux privés neufs peuvent être injectés dans la R&D.

Comment l'industrie peut-elle exploiter les atouts que possède l'Europe dans le domaine des nanosciences pour produire des produits et des services générateurs de richesses? La capacité de libérer, au travers des nanotechnologies, le potentiel que recèlent ces connaissances est cruciale pour redynamiser des industries qui ne sont plus compétitives en raison des pressions de la concurrence internationale, ainsi que pour faire naître de nouvelles industries européennes de la connaissance.

L'approche intégrée de la politique d'innovation qui s'impose²⁹ sera décrite dans le prochain plan d'action en faveur de l'innovation³⁰. Mis à part des facteurs³¹ fondamentaux qui sont communs à toutes les activités de R&D – tels que des marchés actifs et compétitifs, une politique fiscale favorable à l'innovation, des instruments financiers³², des ressources humaines qualifiées, des partenariats public-privé et des infrastructures – le secteur des nanotechnologies est tributaire de trois facteurs supplémentaires, à savoir: le brevetage des connaissances fondamentales, la réglementation et la métrologie.

3.4.1. Perspectives et défis pour l'industrie en place

Les nanotechnologies ouvrent aux entreprises des perspectives importantes en termes d'innovation, qu'elle soit incrémentale ou radicale. Parallèlement, elles exposent de nombreuses entreprises au risque de ne pas en reconnaître le potentiel suffisamment tôt et de perdre de ce fait leur compétitivité. L'absence, en Europe, d'une solide culture qui favorise et encourage la prise de risques dans l'entreprise, dans des domaines tels que les nanotechnologies, constitue un facteur aussi décisif que la présence de conditions générales propices à l'innovation.

Les industries européennes opèrent dans un climat de forte concurrence. Pour des raisons diverses, elles peuvent souffrir d'une pénurie de fonds propres et ne consacrer qu'une part limitée de leurs ressources à des activités de R&D et d'innovation. Des données récentes montrent que le total de l'investissement privé en faveur de la R&D

²⁸ Voir <http://fp6.cordis.lu/fp6/home.cfm>

²⁹ «Politique de l'innovation: mise à jour de l'approche de l'Union dans le contexte de la stratégie de Lisbonne», COM(2003) 112

³⁰ Voir <http://fp6.cordis.lu/fp6/home.cfm>

³¹ Voir, par exemple, «Investir dans la recherche: un plan d'action pour l'Europe», COM(2003) 226

³² Voir, par exemple, «L'accès des petites et moyennes entreprises au financement», COM(2003) 713

représente 1,09 % du PIB dans l'UE, contre 1,85 % aux États-Unis et 2,2 % au Japon³³. Bien qu'on ne dispose pas de chiffres semblables pour les nanotechnologies, on peut supposer que la part de l'investissement industriel en Europe est proportionnellement plus faible qu'aux États-Unis ou au Japon.

3.4.2. Création d'entreprises et capital à risque dans le secteur des nanotechnologies

La plupart des branches des nanotechnologies sont peu avancées dans leur développement et les chercheurs ayant obtenu des résultats satisfaisants se reconvertissent souvent en entrepreneurs en créant une société «start-up». Sur les centaines de sociétés de ce type apparues au cours des dernières années, la moitié sont implantées aux États-Unis, et un quart seulement dans l'UE³⁴. Sachant que les PME représentent environ deux tiers des emplois en Europe, il est évident que des efforts supplémentaires sont nécessaires pour encourager la création d'entreprises nouvelles et innovantes³⁵.

Les banques et les bailleurs de capitaux à risque sont très sélectifs dans leurs offres, en particulier dans des domaines qu'ils estiment caractérisés par un risque technique élevé, un délai de mise sur le marché incertain et de possibles incidences négatives en termes d'éthique, de santé ou d'environnement. Le dépôt de brevets est normalement nécessaire pour prouver la propriété des connaissances et les nouveaux entrepreneurs doivent non seulement être à la pointe des nanotechnologies mais également faire preuve de discernement dans leur gestion et leur stratégie d'entreprise.

Les nouveaux entrepreneurs se plaignent souvent qu'on leur propose du crédit (plutôt que du capital-risque) et qu'ils ne reçoivent aucun soutien en matière de gestion – ce qui augmente leur vulnérabilité et leur perception du risque. Même si elles représentent une réussite technologique, certaines «start-ups» peuvent néanmoins échouer faute d'atteindre un seuil de rentabilité – c'est le phénomène de la «vallée de la mort». Ce problème peut être exacerbé dans le cas des nanotechnologies, pour lesquelles le processus de R&D nécessite un engagement à long terme. Dans ce contexte, la Banque européenne d'investissement (BEI) peut jouer un rôle important en proposant des prêts et en renforçant l'assise financière des entreprises de nanotechnologies.

3.4.3. Brevetage

La propriété des connaissances sous la forme de DPI est essentielle à la compétitivité de l'industrie, que ce soit pour attirer un investissement initial ou pour garantir un revenu ultérieur. Le nombre de brevets déposés en nanotechnologies est en augmentation constante depuis le début des années 80. La gestion conjointe des DPI peut être une source de difficultés dans un domaine où l'interdisciplinarité réunit des chercheurs et des industriels de cultures et de pratiques différentes.

Dans la mesure où elles mettent fortement l'accent sur les connaissances, les nanotechnologies soulèvent des questions fondamentales quant à ce qui devrait, ou ne devrait pas, être brevetable (par exemple, à l'échelle de la molécule). L'accord sur

³³ Commission européenne, «Chiffres clés 2003-2004» (2003)

³⁴ «Little science, big bucks», *Nature Biotechnology*, volume 21, numéro 10, octobre 2003, p. 1127

³⁵ «Plan d'action: l'agenda européen de la politique de l'esprit d'entreprise», COM(2004) 70

les concepts et les définitions qui devrait se dégager au niveau européen, et idéalement au niveau international, sera indispensable pour entretenir la confiance des investisseurs et éviter les distorsions qui pourraient apparaître en raison de différences dans le traitement local ou dans l'interprétation des DPI.

3.4.4. Réglementation

Une réglementation adaptée dans le domaine de la santé publique, de la protection des consommateurs et de l'environnement est essentielle là aussi pour susciter la confiance des consommateurs, des travailleurs et des investisseurs. On devrait avoir le plus possible recours à la réglementation existante. Cependant, la nature particulière des nanotechnologies exige un réexamen et éventuellement une révision des dispositions en vigueur. Une démarche d'anticipation devrait être adoptée à cet égard. Le perfectionnement des connaissances en nanosciences par le biais de la R&D, tant au niveau européen que national, devrait être le point de départ de toute nouvelle action dans cette direction.

Outre qu'elle permet de garantir la cohérence et d'éviter les distorsions sur le marché, une réglementation harmonisée joue également un rôle essentiel dans la réduction des risques et la protection de la santé et de l'environnement. La réglementation existante repose souvent sur des paramètres qui peuvent s'avérer inappropriés pour certaines applications des nanotechnologies, telles que les nanoparticules flottantes. Par exemple, des seuils sont souvent définis en termes de volume ou de masse de production en deçà desquels une substance peut échapper à la réglementation. Il conviendrait de s'interroger sur la pertinence de tels seuils et, le cas échéant, de les modifier.

3.4.5. Métrologie et normalisation

Pour concrétiser le potentiel des nanotechnologies de l'UE, la sphère industrielle et la société doivent disposer de moyens de caractérisation quantitatifs sûrs ainsi que de techniques de mesure étayant la compétitivité et la fiabilité des futurs produits et services. La métrologie et la normalisation doivent être développées afin d'accélérer le développement de la technologie et de susciter chez les utilisateurs la confiance nécessaire dans les performances des produits et procédés qu'ils emploient.

Pour répondre aux besoins des nanotechnologies, les techniques de mesure doivent innover. L'activité dans ce domaine est une gageure. A l'échelle nanoscopique, il devient difficile de distinguer les effets perturbateurs induits par les instruments de mesure sur la mesure elle-même. Dans certains domaines, les outils de mesure ne sont tout simplement pas disponibles à l'heure actuelle. D'importants travaux de recherche et développement prénormatifs sont nécessaires, compte tenu des besoins de l'industrie en termes de mesure rapide et de contrôle. Le Comité européen de normalisation (CEN)³⁶ a récemment créé un groupe de travail consacré aux nanotechnologies.

Actions: Innovation industrielle, passer des connaissances à la technologie

³⁶

Pour de plus amples informations, voir <http://fp6.cordis.lu/fp6/home.cfm> (CEN Resolution BT C005/2004)

4. Convaincue des avantages d'une approche coordonnée pour stimuler l'innovation et l'esprit d'entreprise dans le domaine des nanotechnologies en Europe, la Commission:

- a) invite les États membres à mettre en place des conditions incitant l'industrie et les nouvelles entreprises innovantes à investir en faveur de la R&D, conformément aux objectifs de Lisbonne;
- b) souligne la nécessité d'une exploration plus poussée des perspectives et des conditions d'une exploitation industrielle réussie des nanotechnologies;
- c) encourage la Banque européenne d'investissement et le Fonds européen d'investissement à contribuer au renforcement de l'assise financière de l'innovation dans le domaine des nanotechnologies et invite les États membres à étudier la possibilité de recourir aux Fonds structurels pour financer des initiatives de R&D au niveau régional;
- d) considère qu'un encadrement stable, harmonisé et acceptable des DPI est essentiel pour promouvoir le transfert de technologies et l'innovation;
- e) invite les États membres à établir entre les bureaux des brevets une coopération plus étroite afin de mettre en place un système global de brevetage plus efficace³⁷;
- f) invite les États membres à réexaminer la réglementation existante pour y intégrer les particularités des nanotechnologies et à adopter une approche européenne commune;
- g) invite les États membres à dynamiser et à coordonner les activités de métrologie et de normalisation de façon à renforcer la compétitivité de l'industrie européenne.

3.5. Intégrer la dimension sociétale

D'aucuns reprochent à la communauté scientifique de se tenir trop à l'écart des mécanismes de la démocratie, ce qui empêche le public d'appréhender ce domaine d'activité, de se faire une opinion des risques et des avantages qu'il présente, et d'y participer ou de pouvoir y exercer un contrôle. Les applications potentielles des nanotechnologies peuvent certes améliorer notre qualité de vie, mais – comme toute technologie nouvelle – elles sont aussi associées à un certain degré de risque qui devrait être publiquement reconnu et étudié. Il conviendrait également d'évaluer correctement la perception que le public a des nanotechnologies et de ses risques, et d'y réagir.

Il est de l'intérêt commun d'adopter une démarche d'anticipation et d'intégrer pleinement les considérations d'ordre sociétal au processus de la R&D, en étudiant les avantages, les risques et les conséquences profondes pour la société. Comme cela a déjà été relevé³⁸, il convient d'agir le plus tôt possible dans ce sens et

³⁷ Voir le communiqué final de la réunion du Comité de la politique scientifique et technologique de l'OCDE au niveau ministériel, 29-30 janvier 2004 (<http://www.oecd.org/>)

³⁸ Voir, par exemple, "Nanotechnology: Revolutionary opportunities & societal implications", 3^e séminaire conjoint CE-NSF sur les nanotechnologies, Lecce, Italie (2002), et "The social and economic challenges of nanotechnology", ESRC, UK (2003).

non simplement de compter sur une acceptation a posteriori de la situation. À cet égard, la complexité et l'aspect « invisible » des objets nanotechnologiques représentent une gageure pour les experts en communication dans le domaine des sciences et du risque.

3.5.1. Développement responsable des nanotechnologies

Certains principes éthiques doivent être observés et, le cas échéant, mis à œuvre par voie réglementaire. Ces principes sont consacrés par la Charte des droits fondamentaux de l'Union européenne³⁹ et par d'autres instruments européens et internationaux⁴⁰. L'opinion du Groupe européen d'éthique des sciences et des nouvelles technologies (GEE)⁴¹, qui examine les aspects éthiques des applications liées aux nanotechnologies, devrait également être prise en compte.

Parmi les valeurs éthiques fondamentales figurent les principes suivants: respect de la dignité, autonomie de l'individu, justice et bienfaisance, liberté de la recherche, et proportionnalité. Il convient de comprendre l'importance de ces principes au regard des applications humaines ou non humaines des nanotechnologies. En outre, certaines applications, telles que les capteurs miniaturisés, peuvent avoir des incidences spécifiques sur la protection de la vie privée et des données personnelles.

Il est impératif que le développement des nanotechnologies soit ouvert, « traçable » et contrôlable, conformément aux principes démocratiques. Bien que certains réclament un moratoire pour la recherche sur les nanotechnologies, la Commission est convaincue qu'une telle décision serait dangereusement contre-productive. Outre qu'elle priverait la société des bénéfices possibles des nanotechnologies, une telle suspension de la recherche pourrait aboutir à la constitution de « paradis technologiques », c'est-à-dire de zones où les travaux sont menés hors encadrement réglementaire et peuvent donner lieu à des abus. Nous serions alors dans l'incapacité de suivre les progrès réalisés et d'intervenir, ce qui pourrait avoir des conséquences encore plus graves. Le principe de précaution⁴², tel qu'il a été invoqué jusqu'à présent, pourrait être appliqué dans le cas où des risques réalistes et sérieux seraient signalés.

3.5.2. Information, communication et dialogue: comprendre l'invisible

« Les nanotechnologies, qu'est-ce que c'est ? » Un sondage d'opinion réalisé auprès de 16 000 personnes en 2001⁴³ a montré que les nanotechnologies étaient mal connues. Parce qu'elle est complexe et s'intéresse à des objets invisibles à l'œil nu, cette discipline peut être difficile à appréhender pour le public. Que des nanorobots autoreproductibles fassent, par exemple, la une des journaux, alors que nous sommes actuellement bien incapables d'en produire, et soient souvent présentés comme une menace immédiate, montre à quel point il est urgent d'informer le public de l'état actuel de la recherche sur les nanotechnologies et de ses possibles applications.

³⁹ Voir <http://fp6.cordis.lu/fp6/home.cfm>

⁴⁰ Voir <http://fp6.cordis.lu/fp6/home.cfm>

⁴¹ Voir <http://fp6.cordis.lu/fp6/home.cfm>

⁴² « Communication de la Commission sur le recours au principe de précaution », COM(2000) 1

⁴³ Commission européenne, « Les Européens, la science et la technologie », Eurobaromètre 55.2, décembre 2001

Ainsi, «nanoTruck»⁴⁴ offre un excellent exemple de la manière dont on peut sensibiliser le public.

Sans un sérieux effort de communication, les innovations en nanotechnologies risquent d'être injustement mal perçues par le public. Un réel dialogue dans les deux sens – dans lequel l'opinion du grand public serait prise en compte et parviendrait même à influencer les décisions concernant la politique de R&D – est indispensable⁴⁵. Le développement à long terme des nanotechnologies et la possibilité d'en exploiter les bénéfices potentiels sont tributaires de la confiance et de l'acceptation du public. Il est évident que la communauté scientifique devra améliorer ses capacités de communication.

Actions: Intégrer la dimension sociétale

5. Soulignant la nécessité d'accorder l'attention nécessaire aux aspects sociétaux des nanotechnologies, la Commission:

- a) demande aux États membres d'adopter une approche ouverte et dynamique de la gouvernance de la R&D sur les nanotechnologies afin de susciter l'intérêt et la confiance du public;
- b) encourage le dialogue avec les citoyens/consommateurs européens afin qu'ils puissent se forger en connaissance de cause une opinion concernant la R&D sur les nanotechnologies, sur la base d'une information impartiale et d'un échange d'idées;
- c) réaffirme son engagement vis-à-vis de principes éthiques garantissant que les activités de R&D sur les nanotechnologies sont menées de façon responsable et transparente.

4. La protection de la santé publique, de la sécurité, de l'environnement et des consommateurs

Les progrès de la recherche et de la technologie doivent s'accompagner d'une étude et d'une évaluation scientifiques des risques possibles que présentent les nanotechnologies pour la santé et l'environnement. Un certain nombre d'études spécialisées sont en cours pour évaluer ces risques potentiels, sur lesquels se penchent également des projets intégrés et des réseaux d'excellence consacrés aux nanotechnologies dans le cadre du 6^e PC. Il se pourrait, notamment, que les nanoparticules se comportent de façon inattendue en raison de leur petite taille⁴⁶. Elles pourraient être sources de difficultés particulières, par exemple en termes de production, d'élimination, de manipulation, de stockage et de transport. Des travaux de R&D sont nécessaires pour définir les paramètres applicables et préparer le terrain d'une réglementation, le cas échéant, en tenant compte de toute la chaîne des acteurs, des chercheurs aux consommateurs en passant par les travailleurs. Ces travaux

⁴⁴ Pour de plus amples informations, voir <http://fp6.cordis.lu/fp6/home.cfm>

⁴⁵ «Plan d'action - Science et Société», COM(2001) 714

⁴⁶ Voir, par exemple, les projets suivants financés par la Commission européenne: «Nanopathology: The role of nano-particles in biomaterial-induced pathologies» (QLK4-CT-2001-00147); «Nanoderm: Quality of skin as a barrier to ultra-fine particles» (QLK4-CT-2002-02678); «Nanosafe: Risk assessment in production and use of nano-particles with development of preventive measures and practice codes» (G1MA-CT-2002-00020)

doivent également prendre en considération les incidences des nanotechnologies tout au long de leur cycle de vie, en recourant par exemple aux outils d'analyse du cycle de vie. Dans la mesure où ces préoccupations concernent l'ensemble de la planète, il serait bénéfique de mettre systématiquement en commun au niveau international les connaissances acquises en la matière.

Plus généralement, la protection de la santé publique, de l'environnement et des consommateurs implique que les intervenants dans le développement des nanotechnologies – notamment les chercheurs, les concepteurs, les producteurs et les distributeurs – abordent tout risque potentiel de manière franche, aussi précocement que possible, en s'appuyant sur des données et des analyses scientifiques fiables et en utilisant les méthodes appropriées. Il s'agit d'un véritable défi dans la mesure où il est difficile de prévoir quelles seront les propriétés des produits issus des nanotechnologies, puisqu'il faut pour cela prendre en compte non seulement les phénomènes de la physique classique mais aussi les effets de la mécanique quantique. A maints égards, le façonnage d'une substance par le recours aux nanotechnologies peut être comparé à la création d'un produit chimique nouveau. Par conséquent, le traitement des risques potentiels que présentent les nanotechnologies pour la santé publique, l'environnement et les consommateurs passe par l'évaluation des possibilités de recyclage des données existantes et la production de données toxicologiques et écotoxicologiques nouvelles propres aux nanotechnologies (y compris des données concernant la relation dose-effet et l'exposition). Il requiert également l'examen et, si nécessaire, l'adaptation des méthodes d'évaluation des risques. Concrètement, le traitement des risques potentiels associés aux nanotechnologies implique une intégration de l'évaluation des risques dans toutes les étapes du cycle de vie des produits issus des nanotechnologies.

Actions: Protection de la santé publique, de la sécurité, de l'environnement et des consommateurs

6. Soucieuse de garantir un niveau élevé de protection de la santé publique, de la sécurité, de l'environnement et des consommateurs, la Commission souligne la nécessité:

- a) de recenser les problèmes de sécurité (réels ou perçus) et d'y apporter une réponse le plus rapidement possible;
- b) de soutenir plus activement la prise en compte des questions relatives à la santé, à l'environnement et aux risques, notamment, dans les activités de R&D et les études spécifiques;
- c) de soutenir la production de données toxicologiques et écotoxicologiques (y compris des données concernant la relation dose-effet) et d'évaluer le potentiel d'exposition pour l'homme et l'environnement.

La Commission invite les États membres à promouvoir:

- d) l'adaptation, si nécessaire, des procédures d'évaluation des risques afin de tenir compte des problèmes particuliers posés par les applications issues des nanotechnologies;

e) l'intégration de l'évaluation des risques pour la santé humaine, l'environnement, les consommateurs et les travailleurs dans toutes les étapes du cycle de vie de la technologie (y compris la conception, la R&D, la fabrication, la distribution, l'utilisation et l'élimination).

5. Pour aller plus loin: la coopération internationale

La coopération internationale constitue un atout majeur pour faire progresser la R&D et c'est pourquoi le 6^e PC, notamment, s'est ouvert sur le monde en permettant à des chercheurs originaires de pratiquement tous les pays de participer à des projets. Cet aspect revêt une importance particulière pour les nanotechnologies, qui nécessitent beaucoup de connaissances fondamentales et recèlent encore de nombreux défis scientifiques et techniques: il faudra probablement qu'une masse critique soit atteinte à l'échelle mondiale. La coopération internationale peut accélérer la R&D en permettant de combler plus rapidement les lacunes en matière de connaissances et, par exemple, en contribuant à préparer le terrain pour de nouvelles solutions et normes en métrologie.

Plusieurs pays ont conclu avec l'UE des accords de coopération scientifique et technique comportant un volet «nanotechnologies». Il existe, en particulier, un arrangement de mise en œuvre entre la Commission européenne (CE) et la National Science Foundation (NSF) américaine, et un autre a été passé avec le ministère chinois des sciences et des technologies (MOST). Ces arrangements forment un cadre de coopération renforcée et permettent le lancement d'initiatives conjointes. Depuis 1999, des appels coordonnés CE-NSF ont été lancés et quelque 20 projets ont vu le jour.

Sur la base de l'expérience acquise dans le cadre du 6^e PC, il est nécessaire de mettre en place une coopération internationale renforcée sur les nanosciences et les nanotechnologies avec des pays économiquement plus avancés (pour partager des connaissances et tirer parti de la masse critique) mais aussi moins avancés (pour leur garantir un accès aux connaissances et éviter tout «apartheid» dans ce domaine). En particulier, il est urgent d'organiser un partage des connaissances sur les aspects des nanotechnologies touchant la santé, la sécurité et l'environnement, au bénéfice de tous.

Les principes communs applicables à la R&D sur les nanotechnologies pourraient être regroupés dans un instrument d'encadrement volontaire (tel qu'un «code de bonne conduite») afin de rapprocher l'UE des pays qui sont actifs dans ce domaine et qui partagent le désir de le développer de manière responsable. Les échanges de vues préliminaires qui ont organisés avec des représentants des États-Unis, du Japon, de la Suisse et de la Russie, notamment, sont très encourageants à cet égard et pourraient ouvrir la voie à d'autres initiatives.

Actions: Coopération internationale

7. La Commission, dans le respect de ses obligations internationales et notamment celles qu'elle assume à l'égard de l'Organisation mondiale du commerce, entend promouvoir:

a) un débat ou un consensus international sur des questions d'intérêt planétaire telles que la santé publique, la sécurité, l'environnement, la protection des consommateurs,

l'évaluation des risques, les approches réglementaires, la métrologie, la nomenclature et la normalisation;

b) un accès aux connaissances fondamentales dans les pays moins industrialisés afin de contribuer à éviter la formation d'un «apartheid de la connaissance» ;

c) le suivi et le partage des informations relatives au développement scientifique, technologique, économique et social des nanotechnologies;

d) la définition d'un «code de bonne conduite» international de façon à garantir, à l'échelle mondiale, un consensus sur les principes de base qui devraient régir le développement responsable des nanotechnologies.

ANNEXE: ESTIMATION DU FINANCEMENT PUBLIC ACCORDE AUX NANOTECHNOLOGIES

(Note: les données présentées ici proviennent de plusieurs sources⁴⁷)

Figure 1: Niveaux globaux des dépenses publiques en faveur des nanotechnologies en 2003; chiffres donnés pour l'Europe (y compris, la Suisse, Israël, la Norvège et les pays associés au 6^e PC), le Japon, les États-Unis et les autres pays (1€ = 1 \$).

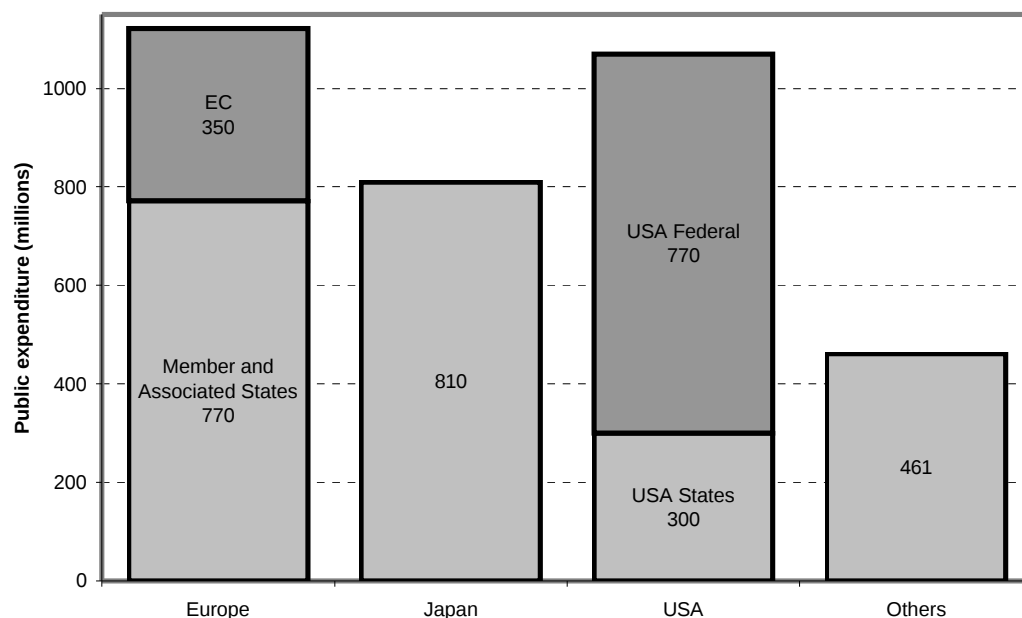


Figure 2 : Niveaux de financement, pour les États membres de l'UE-15, certains pays adhérents (CZ, LV, LT, SI), les principaux pays associés au 6^e PC (CH, IL et NO) et la CE, en valeur absolue (euros) en 2003.

⁴⁷

Asie (APNF, ATIP, nABACUS); Europe (Bundesministerium für Bildung und Forschung (Allemagne), Enterprise Ireland, Secrétariat général à la recherche (Grèce), Inspection générale de l'administration de l'éducation nationale et de la recherche (France), Nanoforum, points de contact nationaux, base de données sur les nanotechnologies de CORDIS, sources variées); États-Unis (NSF); Autres (sources diverses).

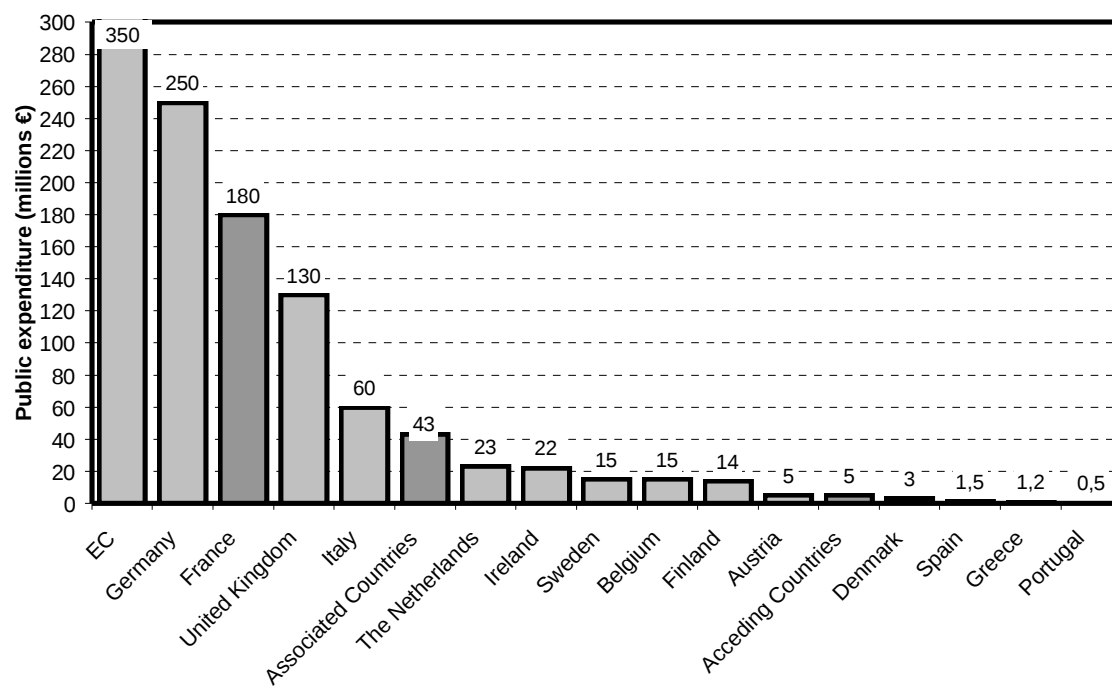


Figure 3 : Niveaux de financement, pour les trois principaux pays (à l'exclusion des États-Unis et du Japon) disposant de programmes relatifs aux nanotechnologies, en valeur absolue (dollars) en 2003. Ces chiffres doivent être lus en tenant compte d'éventuels écarts de pouvoir d'achat importants.

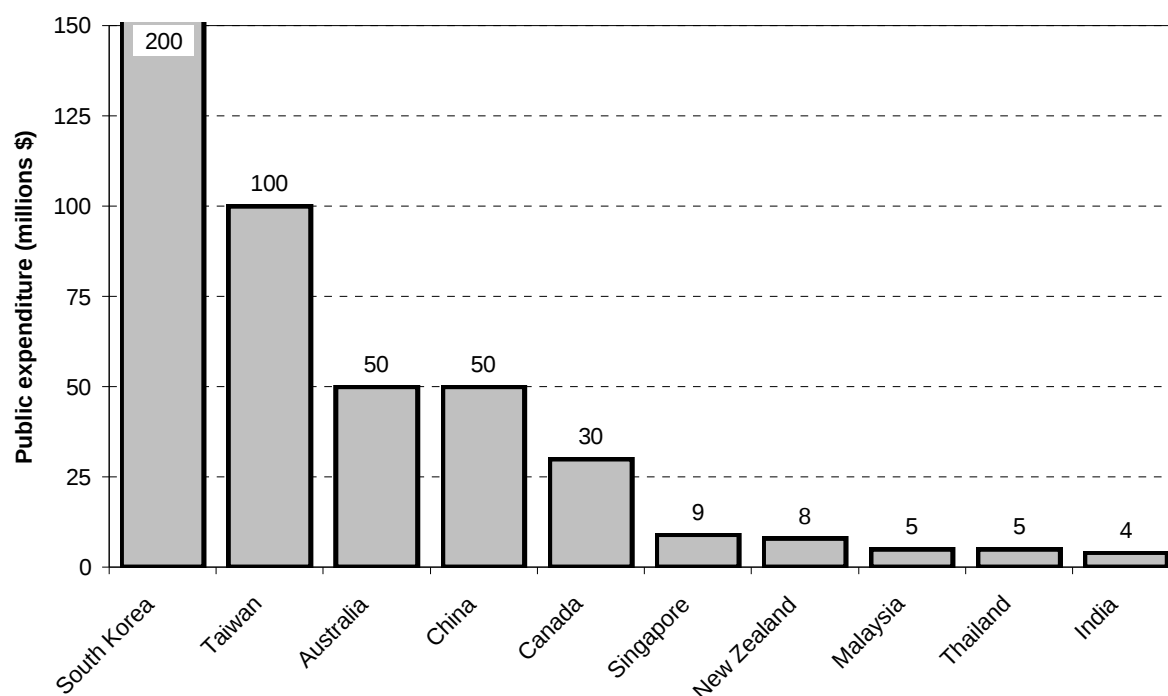


Figure 4: Comparaison des niveaux de financement par habitant, dans l'UE-15, l'UE-25, certains pays adhérents (CZ, LV, LT, SI), les principaux pays associés au 6^e PC (CH, IL et NO), aux États-Unis et au Japon, en 2003 (1€ = 1 \$).

