

Conseil Général des Mines

*Conseil Général des Technologies
de l'Information*

**LES NANOTECHNOLOGIES :
ETHIQUE ET PROSPECTIVE INDUSTRIELLE**

TOME 1

Jean-Pierre DUPUY, Ingénieur général des Mines

Françoise ROURE, Inspecteur général des Postes et Télécommunications

SECTION « INNOVATION ET ENTREPRISE »

15 novembre 2004

LES NANOTECHNOLOGIES :
ETHIQUE ET PROSPECTIVE INDUSTRIELLE

RÉSUMÉ

Les politiques publiques auront à relever un défi majeur au cours des trente prochaines années, celui des nanotechnologies. Une relance ambitieuse des grands programmes scientifiques et techniques pour stimuler l'emploi et la compétitivité est à l'ordre du jour en France et dans l'Union européenne. A ce titre, les nanotechnologies sont appelées à prendre une place significative.

Les principaux pays de l'OCDE ont d'ores et déjà pris dans ce domaine des dispositions explicites de soutien public à la recherche et à l'innovation. Le Conseil compétitivité du 24 septembre 2004, prenant acte du rôle et du potentiel important des nanosciences et des nanotechnologies dans de nombreux domaines, a reconnu leur intérêt pour la qualité de la vie, le développement durable et la compétitivité de l'industrie européenne.

Reconnaissant que le développement des nanotechnologies est inéluctable, la section « Innovation et Entreprise » commune au Conseil général des mines et au Conseil général des technologies de l'information, a inscrit à son programme de travail une mission destinée à préparer les principaux axes d'évaluation de la politique publique française au regard des nanotechnologies, sur le fondement d'une analyse des contextes européen et international, en prenant en compte toutes leurs dimensions, en particulier sociétales et éthiques.

L'approche prospective a conduit la mission à resituer les nanotechnologies dans une dynamique beaucoup plus puissante qui est celle de la méta-convergence de technologies à capacité transformationnelle, à savoir les technologies de l'information et de la communication, les biotechnologies, les sciences et technologies cognitives, et les nanotechnologies.

Le rapport se conclut par treize recommandations, dont les plus importantes à court terme sont, du point de vue de l'action publique en France, la création d'une coordination interministérielle en synergie avec toutes les parties prenantes, et, en écho, la mise en place d'une entité de synthèse capable de répondre de la mise en œuvre effective de cette politique publique.

La participation active de la France aux processus émergents, qu'il s'agisse de la normalisation ou de l'engagement dans un dialogue au niveau international en vue de définir des principes communs pour un développement sûr, durable, responsable et éthiquement acceptable des nanotechnologies, est absolument nécessaire, selon des modalités et moyens qui restent à stabiliser.

LES NANOTECHNOLOGIES :

ETHIQUE ET PROSPECTIVE INDUSTRIELLE

SOMMAIRE

Introduction	p. 1
---------------------------	------

PARTIE 1 . ETHIQUE ET NANOTECHNOLOGIES

1. Réalités industrielles des nanotechnologies	p. 5
a. Nanosciences et nanotechnologies	p.5
b. Soutien public aux nanotechnologies et synergies public-privé	p. 8
c. Marchés émergents	p. 11
2. Les risques créés par les nanotechnologies	p. 13
a. De la causalité simple	p. 15
b. Nature dynamique et systémique des risques en matière de nanotechnologies	p. 16
3. Les questions éthiques soulevées par les nanotechnologies	p. 19
a. L'éthique au-delà de l'analyse des risques	p. 19
b. Vers une prise en compte institutionnelle progressive	p. 23
c. Les obstacles culturels au traitement de la question éthique	p. 26

PARTIE 2. NANOTECHNOLOGIES ET META-CONVERGENCE

1. La place des nanotechnologies dans la prochaine vague technologique	p. 30
a. Les convergences par combinaisons simples	p. 30
b. Les convergences par combinaisons multiples	p. 32
c. La place singulière de la science cognitive et des neurotechnologies	p. 32

2. Les divergences d’approche NBIC / CTs	p. 34
a. La NSF et la problématique de l’augmentation des performances	p. 34
b. Le rapport d’experts de la Commission européenne et la question de la finalité	p. 35
c. La question des technologies duales et la qualité de la concurrence	p. 37
3. Les risques pesant sur l’innovation et les échanges	p. 38
a. De la nécessaire évolution du cadre réglementaire	p. 39
b. De la question cruciale des normes et droits de propriété intellectuelle	p. 40

PARTIE 3. PROSPECTIVE ET SUBSIDIARITE DES NANOTECHNOLOGIES DANS LA META- CONVERGENCE

1. La question de la responsabilité publique	p. 44
a. Observer et comprendre aux plans national et régional	p. 45
b. Choisir les espaces de laisser faire et les activités soumises à réglementation	p. 48
c. Appliquer le principe de rendre compte	p. 49
2. Inspirer la position de l’Union européenne au regard des régulations communautaires p.	51
a. Quelques pré requis pour une position française claire auprès des institutions de l’Union européenne	p. 51
b. Mettre en cohérence la politique publique des nanotechnologies avec d’autres grands domaines de l’action publique dans l’Union européenne	p. 52
3. Prendre sa place dans le dialogue international responsable	p. 53
a. Nature et devenir du dialogue international responsable	p. 54
b. La nécessaire caractérisation du dialogue international responsable et les suites du processus	p. 55
Conclusion	p. 57
Recommandations	p. 58
Notes de fin de rapport	p. 61
Liste des annexes Tome 1	
Annexes (suite) : Tome 2	

INTRODUCTION

Le présent rapport résulte d'une mission relative à l'impact multidimensionnel des nanotechnologies et ses implications en matière de régulation, inscrite au programme de la section « Innovation et Entreprise » commune au Conseil général des mines et au Conseil général des technologies de l'information.

Destinée à préparer les principaux axes d'évaluation de la politique publique française dans le domaine des nanotechnologies, cette mission a donné lieu, au-delà des travaux d'analyse et de synthèse classiques, à une série d'interventions dans différentes sphères prospectives ou décisionnelles, compte tenu de l'accélération notoire qu'a connue l'actualité de ce dossier sur la scène internationale et au sein de l'Union européenne.

S'appuyant en particulier sur les travaux réalisés par l'Office parlementaire des choix scientifiques et techniques, l'Académie des sciences et l'Académie des technologies, et par le ministère de l'Education Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche sur l'évaluation des financements publics français affectés aux nanotechnologies, la mission s'est attachée à prendre un point de vue plus large et plus prospectif afin de rendre plus visibles la pertinence et l'importance de l'action publique dans ce domaine.

Ainsi, nous retenons de ces travaux une définition des nanosciences, à savoir « l'ensemble des recherches ayant pour objet la synthèse et l'étude des nano-objets doués de propriétés (physiques, chimiques ou biologiques), ainsi que la découverte des méthodes d'assemblage permettant d'accéder à des nanomatériaux et celle des méthodes d'organisation qui permettront d'aboutir aux matériaux adaptatifs »¹. Le préfixe « nano- » désignant un milliardième d'unité, le nanomètre désigne le milliardième de mètre.

Les nanomatériaux peuvent eux-mêmes se définir comme « des matériaux composés ou constitués de nano-objets qui confèrent à ces matériaux des propriétés améliorées ou spécifiques de la dimension nanométrique (de 1 à 100 nanomètres) »². Ils se présentent sous forme de particules libres ou fixées, de fibres ou de tubes, de cristaux ou de lamelles, ou encore de porosités ; ils connaissent un développement industriel remarquable dans le domaine des nanotubes de carbone. Les nanocristaux semi-conducteurs, d'une taille comprise

entre 2 et 10 nanomètres, sont nommés, *grains quantiques*³ dans la terminologie des médias, au motif que leurs propriétés sont définies par le corpus scientifique de la mécanique quantique.

Le principal argument en faveur des nanotechnologies, qui explique que leur développement est inéluctable, est qu'elles seules seront à même de résoudre, en les contournant, les difficultés immenses (climat, vieillissement, santé, pollutions, énergie, développement équitable et durable...) auxquelles ont à faire face les sociétés industrielles et post-industrielles, dans leurs dimensions privée et publique. Mais leur viabilité même est assujettie à de multiples incertitudes conceptuelles, physiques, industrielles, économiques et sociétales.

En particulier, les risques associés aux nanotechnologies ne sont pas dans leur nature même comparables à ceux qui s'attachent aux technologies dont nous avons à ce jour connaissance, en particulier si l'on se réfère aux potentialités de combinaison des nanotechnologies avec d'autres technologies à capacité transformationnelle. Certes, la manière classique d'appréhender les propriétés à l'échelle nanométrique est la miniaturisation progressive, avec les limites propres aux échelons méso, micro et nanométriques. Mais elle ne saurait suffire à elle seule. Il convient de lui associer les processus dits d'ingénierie inverse (*bottom up*) qui se réfèrent à la théorie des systèmes complexes à auto-organisation. Les programmes de recherche européens prennent déjà en compte cette notion, qui se traduit même dans les appellations des projets, tels que le « Bottom-Up Nano-calculator – BUN » dont la coordination a été confiée au CNRS.⁴

L'exacte contrepartie des avantages considérables attendus des nanotechnologies est difficile à estimer. Des travaux importants de conceptualisation, d'observation, de gestion et d'évaluation des risques devront être menés, de concert avec la communauté académique et industrielle internationale. A la méta-convergence répond le méta-risque⁵, c'est dire la très grande difficulté d'imaginer des procédures, normes ou règles qui permettraient de faire face à tous les types de risques engendrés, directement ou indirectement, par l'interférence des nanotechnologies avec la vie quotidienne, les pouvoirs structurels et les pouvoirs relationnels.

La qualité d'appropriation sociétale des nanotechnologies est par conséquent dépendante des principes directeurs, éthiques, dont les sociétés se doteront pour fixer les limites socialement acceptables aux usages des nanotechnologies, en particulier lorsqu'il s'agira des possibilités

d'augmentation des capacités cognitives et physiques des hommes par la convergence bio-nano-info et cogno, aux finalités potentiellement contrastées.

Le rapport de mission s'est donc focalisé sur l'éthique et la prospective industrielle des nanotechnologies face à la méta-convergence, considérant que les enjeux essentiels pour la France ainsi que sa crédibilité et son rayonnement futur résulteraient de sa capacité de faire prévaloir cette problématique.

Après un rappel des données essentielles disponibles sur les réalités industrielles et de recherche, le rapport abordera dans une première partie la question des risques émergents induits par les nanotechnologies, dans leur dimension dynamique et systémique, ainsi que la les questions éthiques soulevées par ces technologies, matériaux de synthèse et systèmes, dont la première caractéristique est d'être incorporés, embarqués et disséminés de façon invisible.

Dans une deuxième partie, le rapport mettra les nanotechnologies en perspective face à la nouvelle vague technologique à l'horizon 2020. Il s'agira de mieux cerner l'utilité sociale attendue des nanotechnologies, non plus considérées en tant que telles, mais dans leur incorporation à des processus de production anciens ou novateurs, pour des offres industrielles de biens et services qui soient solvables sur des marchés publics ou privés, civils ou militaires. Les problématiques de technologies duales, critiques et de souveraineté seront ici développées en plus de celle des anticipations sur la compétitivité économique apportée par la méta-convergence dite « bio-nano-info-cogno ».

La synthèse des deux premières parties nous conduira naturellement à formuler, dans une troisième partie, des éléments de réponse à la question de la subsidiarité dans l'action publique, en prenant appui sur les responsabilités respectives de chaque niveau de subsidiarité et de la qualité des acteurs concernés, telles que nous les avons perçues dans les limites de notre mission. Les treize recommandations qui concluent le rapport en résultent directement.

Compte tenu des contributions réalisées par les auteurs pendant la phase d'investigation et afin de concentrer le rapport sur l'essentiel, il sera systématiquement renvoyé aux annexes pour les précisions descriptives comme pour les textes de fond.

PARTIE 1 : ÉTHIQUE ET NANOTECHNOLOGIES

Il existe deux approches assez communément pratiquées des relations entre la société et la technique, qu'il était tentant de transposer à l'histoire des nanotechnologies : la première approche consiste à ériger en axiome que les sciences précèdent toujours les techniques ; la seconde consiste à poser que la société sélectionne toujours une technologie sur la base d'un calcul rationnel différentiel entre les avantages et les inconvénients attendus de son adoption.

La mission a pris d'emblée ses distances avec de telles approches. Pourquoi ? Parce qu'elles sont, ou s'avèreront, inopérantes dans le temps.

Ce sont les nouveaux outils d'observation, de simulation et de manipulation de la matière à l'échelle nanométrique, tels que les microscopes à effet de tunnel, en appui sur les développements les plus récents de la métrologie, qui ouvrent des champs entièrement nouveaux de recherche fondamentale, dans les disciplines traditionnelles telles que la physique et la chimie, mais également à l'intersection des disciplines scientifiques académiques. Lorsque la démarche scientifique expérimentale peut de surcroît être réalisée à l'échelon du nanomètre et conduite sur une durée de l'ordre de la femtoseconde, l'échelle des temps de l'observation définit alors le phénomène, qui est vibratoire en général, et fixe « par erreur », consacrant ainsi « la primauté de l'onde sur le corpuscule »⁶. Ainsi de la femtochimie, où il devient possible de filmer par stroboscope la réaction chimique elle-même.

Les nanotechnologies ont donc un tel pouvoir d'ouverture de champs scientifiques nouveaux qu'un éventuel retard serait d'une portée considérable en termes de risques de dépendance et d'atteinte aux intérêts vitaux et à la souveraineté nationale, dans un contexte de guerre économique exacerbée.

Cette première partie développera successivement les fondamentaux industriels sur lesquels reposent les nanotechnologies, une discussion de la nature des risques qu'elles induisent, et la mise en tension de la question éthique avec les préoccupations légitimes de qualité et de compétitivité.

1 Réalités industrielles des nanotechnologies

Les nanotechnologies et nanomatériaux ne constituent ni un secteur ni une branche au sens de la comptabilité nationale, pas même une filière en référence à l'économie industrielle. Ils échappent aux tableaux d'échange interindustriel, aux statistiques du commerce extérieur, n'étant présents dans aucune nomenclature d'activité et de produit française, européenne, ou dans des tables de correspondance de l'OCDE par exemple. Ils ne figurent pas directement dans les classifications des offices de brevets où ils apparaissent sous la rubrique de la science la plus approchée (dominante physique ou chimique...). Ils font depuis la fin septembre 2004 l'objet d'une interrogation quant à leur prise en compte, ou non, dans les classifications existantes des substances chimiques en particulier. Quoi qu'il en soit, il sera nécessaire de s'accorder sur une terminologie, une classification, une nomenclature, un langage qui soit commun à toutes les parties, au plan mondial.

a. Nanosciences et nanotechnologies

Pour la Commission européenne, les nanosciences et les nanotechnologies constituent de nouvelles approches de la R&D visant à maîtriser la structure fondamentale et le comportement de la matière au niveau des atomes et des molécules. Elles offrent la possibilité de comprendre des phénomènes nouveaux et d'induire des propriétés nouvelles susceptibles d'être exploitées à l'échelle microscopique et macroscopique.⁷

Ce domaine est en cours de définition et c'est ce qui en rend sa lecture et son interprétation, a fortiori sa projection et sa prospective, extrêmement sujets à caution du point de vue de la rigueur scientifique. Les études de marché qui apparaissent, très onéreuses d'accès, sont fondées sur des valeurs déclaratives des entités entrant dans les panels et autres échantillons. Elles reposent sur une segmentation fine de marchés de produits (cosmétiques par exemple) ou de procédés qui peuvent présenter un caractère dual (retardants de combustion, filtrage de l'air par nanotubes de carbones...) et n'offrent que rarement une appréciation d'ensemble. Si elles sont utiles pour éclairer le décideur public sur les intentions et anticipations des acteurs, il ne saurait en revanche être tiré sur la foi de leurs seules productions, de conclusions définitives et de portée générale compte tenu des biais méthodologiques identifiés.

Ainsi⁸, le groupe américain Nano Business Alliance, qui regroupe les principaux acteurs privés américains du secteur, estimait à 45,5 milliards de dollars la taille du marché mondial et tablait sur un marché de 700 milliards en 2008. La National Science Foundation américaine a publié une prévision de 1 000 milliards de dollars avant 2015, se répartissant comme suit : 57 % pour l'informatique, 32 % pour les matériaux, 17 % pour les sciences de la vie. Toutefois la méthode d'élaboration de ces données n'est pas publiée. Il convient par conséquent de renouer avec une approche factuelle, fondée sur l'observation.

La segmentation du marché reste encore largement à construire et recouvre des domaines parfois très grand public tels le textile, les cosmétiques ou les articles de sport.

Les nanosciences sont souvent qualifiées d'horizontales car elles peuvent être empruntées par de multiples domaines recensés par la Commission européenne :

- les technologies de l'information et de la communication, du fait des moyens de stockage de données présentant des densités d'enregistrement très élevées (1 téraoctet par pouce carré). Les activités de nanoélectronique moléculaire ou biomoléculaire, de spintronique et d'informatique quantique laissent entrevoir une rupture technologique aux développements constitutifs de, ou accompagnant, la miniaturisation. Les méthodes de cryptographie pour la transmission des données, ou encore la nanolithographie sont concernées ;
- les technologies de l'énergie. En ce domaine, plusieurs apports fondamentaux sont attendus, tant pour la contribution aux économies d'énergie (par isolation, transport et rendement de l'éclairage), que pour l'énergie renouvelable (cellules solaires photovoltaïques) ou embarquée sur des « mobiles » (piles à combustible, solides nanostructurés légers à potentiel de stockage de l'hydrogène) ;
- les technologies médicales (*medtech*) et neurotechnologies : chirurgie, ingénierie tissulaire et de matériaux biomimétiques, implants bioactifs et biocompatibles, traitement thermique ciblé de cellules tumorales, confection de valves cardiaques, aide aux tests par usage de puces à ADN, aide au diagnostic précoce des maladies. Le marché des neuroprothèses est tiré par la demande (implants cochléaires et rétiniens, développement de matrices d'électrodes souples...)

- les écotechnologies et en particulier celles de l'eau : détection et neutralisation de micro-organismes et pesticides, dépollution des eaux et des sols, possibilité de nano-marquages de produits), réduction de la production de déchets sur les cycles de vie des produits manufacturés ;
- les technologies de sécurité : capteurs implantables dans l'environnement ou en lieu hostile pour détecter la présence d'agents chimiques ou biologiques, sélectifs à l'échelle moléculaire, sécurité alimentaire par nano-marquage.

Pour être complète, cette liste devrait inclure des secteurs très importants pour un pays industriel, tels que les transports, les matériaux de construction, céramiques et verres, le textile, les cosmétiques, la chimie, les loisirs via de nouveaux services dits de réalité accrue (*augmented reality*), l'éducation.

Les nanomatériaux méritent un développement particulier en ce sens qu'ils constituent les « briques de base » des produits manufacturés. L'ensemble des secteurs économiques bénéficient de leur mise au point et de leur inclusion dans les processus de fabrication. Les entreprises développant des nanomatériaux sont aussi bien des grands groupes tels qu'EADS, Rhodia, Michelin, Atofina, Saint-Gobain, Air Liquide ou Snecma, que des PME (DGTec, Alchimer, Inanov...).⁹ Une base de données des acteurs des nanomatériaux en France a été réalisée sous l'impulsion de la DiGITIP.¹⁰

Ils font l'objet d'échanges bilatéraux sous l'impulsion des pouvoirs publics, notamment en 2004 avec l'Allemagne et l'Autriche pour leur contribution au véhicule propre et sobre et au développement durable.¹¹

La France a reconnu officiellement à Bruxelles que les applications des nanotechnologies sont transversales au monde industriel et économique et toucheront tous les secteurs¹².

b. Soutien public aux nanotechnologies et synergies public-privé.

Les initiatives publiques de soutien aux nanosciences et nanotechnologies se trouvent en Europe (Royaume-Uni, Allemagne, France pour l'essentiel), aux Etats-Unis (National Nanotechnology Initiative [NNI] de la NSF), au Japon, en Corée du Sud et à Taiwan. La République populaire de Chine a identifié ces avancées comme critiques et investit également de façon croissante, comme en témoignent les références aux partenariats académiques et industriels signalés pour la seconde conférence SINC¹³ de Shanghai de décembre 2004.

Le soutien public aux nanotechnologies, tous pays confondus, représente 3,5 milliards d'euros en 2003. Il croît à un rythme de 40 % par an. Comparativement aux 350 millions d'euros du budget de l'Union européenne pour 2003, les pays membres et associés ont dépensé 800 millions d'euros (l'Allemagne a consacré 250 M€, la France 180 M€, et le Royaume-Uni 130 M€). La dépense publique japonaise s'est élevée à 810 M€, celle des Etats-Unis à 1 070 M€ dont 300 pris en charge par les États et 770 provenant de programmes fédéraux. Les autres pays ont fait un effort budgétaire de 511 M€ (Chine, Brésil, Inde, Israël, Corée du Sud, Taiwan en particulier).

Le projet de budget américain présente une dotation prévisionnelle de 982 millions de dollars pour la NNI en 2005, à répartir entre 10 agences fédérales, dont la NSF, non compris les financements publics par des agences non civiles. A titre d'exemple, l'agence fédérale pour la protection de l'environnement (EPA) a estimé à 5 millions de dollars en 2005 les fonds nécessaires pour étudier la toxicité des nanomatériaux et leur interaction avec leur milieu ; le NIOSH (National institute for occupational safety and health) devrait consacrer 2,3 millions de dollars pour mieux comprendre les nanoparticules libres dans l'air et rechercher si les nanotubes de carbone sont susceptibles de porter atteinte aux poumons et au cœur. Le département de la défense (DoD) prévoit de dépenser 5,5 millions de dollars en 2005 pour développer un modèle de simulation et de prévention de la toxicité des nanoparticules, en plus des 20 millions réservés à l'étude de nanostructures utilisables pour détecter et protéger des rayonnements ionisants et des agents bactériologiques. Le programme national de toxicologie a lancé une étude de 5 ans, dotée de 3 millions de dollars, sur la toxicité et le potentiel cancérigène des nanoparticules.

L'État de Californie, anticipant sur la nécessité d'un « second souffle » pour relayer sa spécialisation internationale en technologies du silicium, menacée par la délocalisation et les suites de l'explosion de la bulle financière de la nouvelle économie, a investi 100 millions de dollars pour la création du California Nanosystems Institute (CNSI), dont les principaux axes de recherche sont les diodes blanches à haut rendement pour le remplacement des lampes à filament, les structures photoniques pour la connectique optique et la manipulation de la lumière à partir de cristaux photoniques ; les TIC (électronique moléculaire, spintronique, photonique et calcul quantique), les méthodes de criblage pharmaceutique par les nanotechnologies, et le développement d'outils de diagnostics médicaux¹⁴.

La comparaison des efforts faits par la France et les Etats-Unis n'a pas grand sens dans la mesure où les grands agrégats macroéconomiques de notre pays le situent plutôt au rang de l'État de Californie. Seuls les agrégats de l'Union européenne offriraient une comparabilité pertinente avec les Etats-Unis. Encore faut-il s'entendre sur la qualité des nombres : avec ou sans incorporation de la masse salariale des chercheurs par exemple.

La France n'a pas annoncé à proprement parler d'initiative comparable à la National Nanotechnology Initiative américaine. Les financements existent néanmoins et se répartissent entre le ministère délégué à la Recherche, le MiNEFI, la DGA et l'ANVAR. Selon des programmes à finalités spécifiques.¹⁵ Pour autant, les pouvoirs publics ont exprimé dès 2003 et confirment dans les perspectives 2005 à la fois leur intérêt et leur appui au développement des nanosciences et nanotechnologies. L'imbrication des fonctions de recherche en micro et en nanotechnologies ne permet pas de les distinguer nettement, notamment dans les statistiques relatives aux chercheurs¹⁶. Il conviendrait pour être exhaustif de compléter les données au minimum par les budgets de l'INSERM, de l'ONERA et du CNES qui se rapportent aux nanotechnologies, bien que celles-ci n'apparaissent pas en tant que telles.

Le ministère délégué à la Recherche demeure, de fait, le pilote en ce domaine, ainsi que le montre sa position privilégiée dans l'élaboration de la position française pour le débat sur les conclusions du Conseil Compétitivité du 24 septembre 2004, qui devient d'autant plus interministériel que les applications se développent dans de nombreuses directions (industrie, intérieur, santé, agriculture notamment), et concernent dorénavant aussi bien le MiNEFI que le ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (MEDD).

Il est prévu que la future Agence Nationale pour la Recherche (ANR) fasse figurer les nanosciences et les nanotechnologies (nano-objets, nano-composants, nanobiosciences et

nanomatériaux) parmi les grands thèmes technologiques identifiés comme prioritaires. Le Réseau Micro nanotechnologie (RMNT) devrait à ce titre bénéficier d'un budget de 4,1 M€, dont 2,3 au titre des actions conjointes avec la délégation générale pour l'armement.

Le statut de GIP annoncé¹⁷ par le ministre délégué à la Recherche pour cette agence semble adapté à une période transitoire d'externalisation des financements de la Recherche prioritaire orientée par le gouvernement, sur des fonds non ouverts en loi de finances (emprunts, partenariats public-privé). Toutefois la dimension européenne devrait s'imposer à assez brève échéance, ouvrant la voie à la mise en oeuvre d'une recommandation du Conseil stratégique des technologies de l'information, selon des modalités à définir, tel un Groupement européen d'intérêt économique par exemple¹⁸, qui associerait dans un partenariat public-privé, civil et militaire, les financements de la R&D jugée prioritaire et stratégique de point de vue de la connaissance, de l'emploi et de la compétitivité.

Le 6^{ème} Programme Cadre de Recherche et Développement prévoit un budget de 1,3 milliard d'euros pour les nanosciences et nanotechnologies. La Commission européenne envisage de proposer le triplement de ce budget pour le 7^{ème} PCRD, dont les grandes orientations sont en cours de définition. Il conviendrait d'agrèger à ces données les budgets qui financent sur fonds communautaires les nanotechnologies relevant des technologies de l'information et de la communication, des biotechnologies, des technologies médicales et des technologies pour le développement durable, ou encore des projets réservés aux concepts avancés du futur (programme NEST). Là encore, une piste de recherche des meilleurs critères pour une évaluation rigoureuse, fiable et pérenne, est à explorer.

La construction de l'Espace Européen de la Recherche (ERA) va ouvrir de nouvelles opportunités d'externalisation de la coordination de projets européens de grande envergure. Dans le cas des programmes prioritaires qui seront portés par l'ANR, on observe un recouvrement certain avec les priorités esquissées par le 7^{ème} PCRD. C'est la raison pour laquelle l'ANR devrait avoir le statut le plus à même de bénéficier d'une déconcentration de l'action de la DG Recherche, dès le premier appel d'offres du 7^{ème} PCRD.

Compte tenu des exigences de mise en place de programmes d'excellence dotés de la taille critique pour une crédibilité internationale incontestable, un statut associant deux ou plusieurs partenaires européens (Allemagne, Royaume-Uni pour commencer) semble plus indiqué qu'un statut juridique purement national.

c. Marchés émergents

L'identification des marchés émergents civils, duaux ou militaires, et de leur segmentation à partir de la recherche appliquée ne peut se réaliser, en l'état des statistiques, que par approximations et panels auprès des entreprises, de la start-up au grand groupe intégré mondialement, importatrices ou productrices de technologies de l'information, de biotechnologies et de technologies médicales, dans un domaine hautement compétitif où les secrets d'affaire existent. Les statistiques d'utilisation intra groupe sont pratiquement inaccessibles.

C'est la raison pour laquelle notre mission a recommandé qu'un outil soit mis à disposition des pouvoirs publics et de l'exécutif européen (par exemple un observatoire européen), pour bien appréhender l'impact des avancées scientifiques et technologiques, en termes d'implications économiques, sociales, éthiques ainsi que l'impact sur le comportement des acteurs. Cette recommandation a été reprise dans les éléments de position officielle de la France dans le débat du Conseil compétitivité au titre du développement responsable des nanotechnologies. Elle a suscité un vif intérêt lors de sa présentation à la conférence des 14 et 15 septembre 2004 sur les technologies convergentes pour une Europe diverse.

La DREE bureau C5 a inscrit dans sa programmation 2004 au titre du réseau Sciences de la vie, un rapport sur l'avenir des nanotechnologies dans pratiquement tous les marchés mondiaux (exception faite de l'Afrique sub-sahélienne et de l'Amérique du Sud). Prévu pour novembre 2004, ce rapport devait apporter de multiples informations sur le développement des biotechnologies par les nanotechnologies.

En amont des marchés d'entreprise ou grand public, ce sont les marchés d'instrumentation et d'équipement scientifique de laboratoires qui portent des technologies critiques.

L'instrumentation et la métrologie sont des outils donnant de la puissance au développement des nanosciences et nanotechnologies. Ils constituent **des domaines où le risque de dépendance stratégique est actuel et majeur**. Ils méritent par conséquent qu'une forte priorité soit donnée à la R&D de pointe ainsi qu'à la vérification des capacités industrielles de production en France ou, à tout le moins, sur le territoire de

l'Union européenne, avec l'assurance de ne pas se voir objecter de refus de vente des tous derniers instruments disponibles, à un prix abordable. Ils constituent d'ores et déjà un marché considérable, mais dual, où les refus temporaires d'exportation de biens et de transfert de technologies sont susceptibles d'apparaître. Le marché mondial est estimé par la NSF à l'horizon 2012 à 22 milliards de dollars par an.

Des offres de services aux industries se développent dans le domaine de la métrologie dimensionnelle sans contact, en particulier dans les secteurs de l'automobile, de l'aérospatiale, du nucléaire ou de la recherche (synchrotrons). Intégrées par des équipes multidisciplinaires, elles autorisent un service « sans couture » du capteur jusqu'à l'ingénierie et l'informatique associées¹⁹.

Des recherches importantes sont en cours dans le domaine de la microscopie subnanométrique corrigée et quantitative, dont les applications permettront de mesurer avec certitude des objets de la taille d'un Angström, soit un dixième de nanomètre, avec un seul temps de pause et par conséquent le minimum de distorsions. Cette avancée autorise la discrimination des matériaux isotropes et anisotropes, par obtention de la signature de l'anisotropie (par exemple d'un cristal, dont les propriétés varient selon la direction concernée). Le développement et le marché des nanoparticules et matériaux nanostructurés dépendent étroitement des percées scientifiques et techniques issues de l'observation et de la simulation.

Le facteur temps est ici capital du point de vue de la dépose de brevets sur les nouveaux matériaux et leurs propriétés. Tout retard pris, pour raisons budgétaires ou plus stratégiques, dans la mise à disposition des équipements correspondants aux laboratoires serait très pénalisant pour la communauté scientifique et académique, pour l'industrie et pour l'économie en général. La situation actuelle est celle où les PME françaises et européennes ne trouvent plus de commandes des grands laboratoires, qui préfèrent se fournir « sur étagère » au Japon (cf le positionnement du groupe JEOL^{20, 21}) ou aux Etats-Unis).

Les marchés militaires et de sécurité sont également présents et l'on assiste à un financement des technologies duales par les agences américaines telles que la DARPA, le DoE, le département de la Santé ou celui de la sécurité intérieure²². Les applications

civiles potentielles issue de ces financements sont extrêmement larges (par exemple les capteurs biologiques en réseau).

La course aux nano-armes, d'ores et déjà entamée, constitue un marché en soi. Elle comporte des bouleversements stratégiques et tactiques intenses dans la mesure où la dissémination sera la règle, et la dissuasion impossible.

La recherche d'un accès aux frappes premières et ciblées sur les populations à vaincre, ainsi qu'aux protections maximales couplées avec des moyens spécifiques d'augmentation des capacités sensorielles et motrices, alliées à la remise en cause des concepts issus de la dissuasion nucléaire, suffiraient à établir que la course aux armements de destruction massive basés sur les nanotechnologies sera pratiquement sans limites²⁴

2 Les risques créés par les nanotechnologies

Pour qu'il y ait risque trois éléments doivent être en principe présents : a) une éventualité de dommage, affectée normativement d'un signe moins ; b) un degré de vraisemblance assigné en principe à l'occurrence de ce dommage ; c) une population d'individus touchés potentiellement par le dommage et dont les "utilités" (ou "satisfactions", ou "ophélimités" etc.) servent d'étalon pour l'appréciation du dommage. Le débat sur le « principe de précaution » a introduit une distinction d'ordre *épistémique*, à savoir le type de connaissance que les acteurs ont ou n'ont pas du degré de vraisemblance de l'occurrence du dommage, par exemple sous la forme de probabilités objectives. La définition des risques est très restrictive, et il est clair qu'une technologie nouvelle a en général des effets qui ne sont pas des risques en ce sens. Lorsque la National Science Foundation dit des nanotechnologies qu'elles vont "entraîner un changement de civilisation", on serait bien en peine de mettre un signe, plus ou moins, devant cette éventualité, ou de se prononcer sur son degré de vraisemblance ou encore d'en évaluer les conséquences en additionnant les différentiels d'"utilités" sur toute la population. L'analyse des risques est un élément important de l'évaluation normative d'une nouvelle technologie, mais elle ne saurait représenter à elle seule la globalité de cette évaluation. Il existe un « risque de tyrannie de l'analyse des risques », pour reprendre un mot de l'Agence britannique de l'environnement²⁶. Notre mission juge essentiel d'étendre l'évaluation éthique du

programme nanotechnologique, surtout considéré dans le cadre de la méta-convergence, bien au-delà de l'analyse des risques.

Cela étant dit, l'approche classique du risque comporte une phase d'identification, de gestion et d'évaluation. Une abondante littérature existe sur le sujet et les institutions, du moins en France et dans le monde occidental, ont généralement bien pris en compte, chacune pour ce qui la concerne, cette dimension. Les entreprises également, sont amenées à intégrer la dimension financière des risques industriels en tant que donnée obligatoire des rapports d'activité.

Le secteur de l'assurance et de la réassurance a lui-même investi de longue date dans les modélisations qui permettent de calculer les probabilités et les montants pour fixer le prix de leurs services. L'un des réassureurs très proactifs en ce domaine est la société Swiss Re, qui pose les problèmes en ces termes : pour réduire les incertitudes associées aux nanotechnologies, l'analyse et la gestion du risque et les options pour un transfert de risque acceptable doivent être étudiées selon une plate-forme commune, partagée entre les industriels, les scientifiques, les responsables des politiques publiques et les assureurs²⁷. Le domaine de l'assurance maladie peut servir ici de contre modèle, les effets macroéconomiques désastreux des problèmes liés aux poussières de charbon, à l'amiante, aux résidus de combustion du diesel, etc. étant le résultat de l'absence d'une telle plate-forme.

La relation du risque à la responsabilité est traditionnellement assurée par l'expression et la démonstration d'une faute, ce qui implique une responsabilité de nature subjective. Les risques induits par les nanotechnologies ouvrent un champ de réflexion sur les conditions de la couverture assurantielle des risques, ouvert par le Conseil économique et social (CES) en ces termes : au principe de responsabilité subjective pourrait se substituer celui de la responsabilité objective, faisant du risque, et non pas de la faute, le fondement de la responsabilité.²⁸ Les implications pour la légitimité comme pour les modalités de l'intervention publique sont alors importantes, depuis la prise en compte de la **nano-erreur**, qui caractérise la notion de responsabilité sans faute, à celle de la nano-terreur,²⁹ qui se réfère au « risque majeur », que son occurrence soit liée ou non une action délibérée.

a) De la causalité simple

L'approche intuitive en matière de risques induits par les nanotechnologies consiste à choisir le développement ou la limitation en fonction d'une minimisation des coûts ou d'une maximisation des bénéfices. Elle est de nature causale et se concentre sur les études, encore très récentes et peu développées, de toxicologie relative au corps humain. Les études du Dr Vicky Colvin (Rice University, Etats-Unis), sont la référence mondiale en ce domaine, appuyées par la NNI.

Cette approche est absolument nécessaire et mérite d'être développée fortement, en liaison avec l'industrie chimique qui dispose des référentiels adéquats pour les risques liés à la création, l'enrobage et la dissémination des produits finaux (au rang desquels colorants, parfums industriels, cosmétiques, aérosols et pesticides figurent dans les produits en contact quotidien avec les organismes vivants). La pression des consommateurs est ici un facteur clé pour que soient mises en place des régulations adéquates, à commencer par l'attribution d'un nouveau numéro CAS (*Chemical abstract safety registry number*) aux nanoparticules produites, par exemple.

Cependant, une telle approche causale simple, si indispensable soit-elle, mérite d'être insérée dans un panorama pertinent plus large qui est celui de l'écotoxicologie, mais surtout de la spécificité des risques induits, directement ou indirectement, pas les nanotechnologies.

Entre les deux approches se situe le projet Nanosafe dans sa première version. L'Union européenne a tenté de relier les phénomènes de causalité simple et l'analyse systémique dès le 5^{ème} PCRD, avec le projet NANOSAFE du programme GROWTH. Doté de 300 k€, il est intitulé « *Risk assessment in production and use of nanoparticles with development of preventive measures and practice codes* » et a rendu ses conclusions en juin 2004. La principale d'entre elles appelle à la création d'un cadre réglementaire unique pour l'Union européenne en ce domaine où plus l'information est vague, plus elle engendre peurs et scepticisme. L'appel d'offres du 6^{ème} PCRD s'intitule "*Impact of nanoparticles on human health and the environment*".

b) Nature dynamique et systémique des risques en matière de nanotechnologies

La première amélioration à l'approche causale simple consiste à opter pour une appréhension systémique des risques induits par les nanoparticules et produits nanostructurés, suivant un corpus méthodologique bien balisé dans les études d'écotoxicologie. Une représentation synoptique des environnements entourant l'émission de nanoparticules, le transport, l'exposition et les effets a été tentée dans le cadre d'un groupe de travail de la DG Santé et protection des consommateurs de la Commission européenne.³⁰ Elle met en relief l'utilité d'une approche systémique des risques.

Les politiques publiques sont sollicitées de façon croissante dans la gestion des crises environnementales, ce qui implique des compétences quantitatives et qualitatives dans la compréhension de la nature des risques et des impacts de façon à optimiser les dispositifs publics. L'évaluation du risque environnemental s'effectue selon la chaîne « identification du danger – exposition – rapport entre la dose et l'effet – caractérisation du risque ».

L'approche écotoxicologique se concentre sur les nanoparticules et matériaux nanostructurés libres ou fixés, fabriqués ou rejetés par un processus de fabrication ayant d'autres finalités, avec ou sans revêtement, à durée de vie variable.

Il existe à ce stade un consensus des experts sur l'imprévisibilité des propriétés des nanoparticules fabriquées, ou naturellement présentes dans l'environnement sur de très longues périodes (oxydation des poussières, rejets volcaniques...), et des matériaux nanostructurés. Dans ces conditions et en l'absence de progrès significatifs en ce domaine, il est impossible de prétendre à l'exhaustivité dans l'évaluation des risques par une approche de type dose-réponse ou par la recension des données d'exposition.

Ici encore, l'approche systémique ne se limite pas aux risques stricto sensu, et doit prendre en compte les solutions que les nanotechnologies sont susceptibles d'apporter aux grands défis du développement durable. Les nanomatériaux, par les nouvelles propriétés dont ils sont dotés, permettent la réduction de l'écopollution, non seulement par l'amélioration de la connaissance accrue des polluants dans l'environnement, mais également par l'usage de filtres fonctionnalisés ou encore de céramiques nanoporeuses.

Les besoins à court terme pour accroître les connaissances sur l'écotoxicité des nanoparticules sont la caractérisation et la classification, l'élaboration de normes, l'investissement dans la nanométrie et l'instrumentation.

Mais au-delà de l'approche systémique, une autre étape qualitative doit être franchie, si possible en coopération internationale fortement inclusive, celle de l'approche dynamique, qui seule permet, en prenant en compte les dimension spatio-temporelles, d'accéder à une *méthodologie d'évaluation normative de la combinatoire des risques, ou méta-risques* induits par les nanotechnologies.

Le besoin d'une telle méthodologie est pressant. En son absence, on observe déjà une lutte de communication assez stérile entre les promoteurs et les critiques des nanotechnologies.

D'un côté, certains vantent en termes hyperboliques les bienfaits pour l'humanité de la révolution scientifique et technique en cours. Le rapport américain de la National Science Foundation (NSF) qui a lancé le programme nano sous le titre "Converging Technologies for Improving Human Performances" (2002), bat sans doute tous les records. Il ne promet pas moins à terme que l'unification des sciences et des techniques, le bien-être matériel et spirituel universel, la paix mondiale, l'interaction pacifique et mutuellement avantageuse entre les humains et les machines intelligentes, la disparition complète des obstacles à la communication généralisée, en particulier ceux qui résultent de la diversité des langues, etc.

Cependant, les chercheurs du terrain sont assez lucides pour comprendre ceci. A trop vanter les conséquences positives "fabuleuses" de la révolution en cours, on s'expose à ce que des critiques non moins hypertrophiées s'efforcent de la tuer dans l'œuf.

Le risque le plus souvent évoqué par les critiques, et qui a déjà été mis en scène par la littérature et bientôt le cinéma³¹, est celui d'une auto-réplication sauvage de nano-robots à la suite d'un accident de programmation ou d'un acte terroriste. Tout ou partie de la biosphère serait alors détruite par épuisement du carbone nécessaire à l'auto-reproduction des nano-engins en question. La possibilité de tels nano-robots a été envisagée par Eric Drexler, le créateur du concept de nanotechnologie et le fondateur du Foresight Institute. Drexler lui-même est quelque peu revenu sur ses positions dans un article de juin 2004 intitulé « Safe

exponential manufacturing »³². En tout état de cause, ce risque ne peut vraiment effrayer que celui qui croit à la possibilité de telles machines. Il suffit de nier cette possibilité pour écarter le pseudo-risque d'un haussement d'épaules.

Oscillant entre de tels extrêmes, le débat sur les risques du programme nanotechnologique est mal engagé. A mettre sur les plateaux d'une même balance des coûts et des avantages énormes et très mal définis, l'évaluation normative est condamnée à l'indécidabilité. Avant de déplacer la problématique, il convient de noter cependant ce qui singularise les technologies émergentes par rapport à la question de la prudence, et qui nous permet de parler de risques d'un nouveau genre.

La critique classique des dérives de la technique consiste à déplorer que le rêve de Descartes – "se rendre comme maître et possesseur de la nature" –, ou bien l'ambition « prométhéenne » de l'homme, ait mal tourné. Il serait urgent d'en revenir à la "maîtrise de la maîtrise". On peut penser que cette critique manque ici l'essentiel. La visée imaginaire qui sous-tend le programme nanobiotechnologique, en particulier, est l'ingénierie, puis à terme, la fabrication de la vie. Et celui qui veut fabriquer de la vie ne peut pas ne pas vouloir reproduire sa capacité essentielle, qui est de créer à son tour du radicalement nouveau.

Comme déjà l'avait prévu John von Neumann, dans sa réflexion de 1948 sur les automates auto-reproducteurs, l'ingénieur de demain sera au moins autant un explorateur et un expérimentateur qu'un réalisateur. Ses succès se mesureront au moins autant à l'aune de créations qui le surprendront lui-même que par la conformité de ses réalisations à des cahiers des charges préétablis. Des disciplines comme la vie artificielle, les algorithmes génétiques, la robotique, l'intelligence artificielle distribuée répondent déjà à ce schéma. C'est dans cette perspective, qui tend à effacer les distinctions classiques entre la science et la technique, la découverte et l'invention, le scientifique et l'ingénieur, que la question des risques doit être replacée.

Les médias grand public sont venus à la considérations des grands risques scientifiques par les biotechnologies et leur cohorte de conflits (moratoire sur les organismes génétiquement modifiés, positions des conseils d'éthique sur la recherche dans le domaine des cellules souches en particulier). Contrairement à ce qui se passe aux Etats-Unis et dans certains pays de l'Europe du Nord, les nanotechnologies ne font pas encore partie en France des sujets de

vulgarisation pour le grand public. Les commentaires proviennent essentiellement des analystes observateurs de la vie économique, sous l'angle de la compétitivité et du positionnement des acteurs. Mais cette situation est amenée à évoluer très rapidement. Les grands acteurs du programme nanotechnologique doivent être prêts, ce qui implique qu'ils organisent sans tarder des espaces de débats et de discussion, selon une méthodologie et des règles qui restent pour l'essentiel à inventer.

3 Les questions éthiques soulevées par les nanotechnologies

Nous aborderons successivement la question de l'éthique au-delà des risques, ainsi que les obstacles culturels qui s'opposent à cette question.

a) L'éthique au-delà de l'analyse des risques

La mission a dégagé cinq grandes dimensions selon lesquelles on peut repérer les grandes questions éthiques soulevées par le programme nanotechnologique. Pour nous déprendre de la problématique des risques au sens strict, nous parlerons d'*effets* des nanotechnologies. Il convient de distinguer les effets sur les relations de domination, les effets sur le rapport à la nature, les effets sur le rapport à la connaissance, les effets éthiques et les effets métaphysiques.

a1) Les effets sur les relations de domination (effets de pouvoir)

Ce sont ces effets qui mobilisent l'opinion et expliquent l'essentiel de ses rejets. Ils vont de l'appropriation par un tout petit nombre de firmes des conditions de production et de reproduction de la vie à la domination qu'exercent la science et la technique sur des populations qui dans leur immense majorité n'ont pas accès à la culture scientifique et technique ; de l'humiliation que les scientifiques ressentent à devoir se livrer à des opérations de relations publiques pour conquérir une "acceptabilité" de plus en plus évanescence à la colère de ceux qui n'ont plus la maîtrise de ce qu'ils mangent ; de l'approfondissement des inégalités mondiales aux nouvelles pauvretés engendrées par le monopole qu'exercent les techniques nouvelles sur des actes ou des relations qui traditionnellement échappaient à la technique ; etc.

a2) Les effets sur le rapport à la nature (effets ontologiques)

Le débat actuel sur la transformation du rapport à la nature provoquée par les techniques nouvelles se présente en général ainsi. D'un côté, l'écologie profonde fait de la nature un modèle immuable d'équilibre et d'harmonie, et de l'homme un prédateur irresponsable et dangereux. De l'autre, le projet humaniste moderne vise à arracher l'homme à la nature et à le rendre maître et possesseur du monde et de lui-même. Dans un cas la "transgression" est vilipendée, dans l'autre elle est revendiquée.

Le débat ainsi engagé paraît à la mission très insatisfaisant. En arrière-fond de tout "paradigme" scientifique et technique, il y a ce que Karl Popper appelait un "programme métaphysique de recherches" – ensemble non testable de propositions que l'on tient pour vraies sans chercher à les remettre en cause, cadre théorique qui limite le type de questions que l'on pose mais aussi qui en donne l'inspiration première. Le programme métaphysique de recherches des nanotechnologies, considérées dans le cadre de la méta-convergence où les sciences cognitives jouent un rôle tout à fait singulier, tient en deux propositions qui, de prime abord, pourraient paraître contradictoires :

- 1) il faut viser à naturaliser l'esprit et la vie pour qu'ils retrouvent leur place au sein de la nature qui les a engendrés ;
- 2) cette naturalisation passe par une mécanisation et une artificialisation, tant de la nature que de la vie et de l'esprit.

Si les nanotechnologies ambitionnent de prendre le relais de la nature et de la vie, ce n'est que parce qu'elles ont auparavant complètement redéfini ces dernières à leur image. L'expression "nature artificielle" n'est désormais plus une contradiction dans les termes.

Une fois admise une telle vision du monde, il n'y a qu'un pas pour en arriver à former le projet de se rendre maître de ces machines informationnelles ou algorithmiques, d'abord en les simulant et en les reproduisant (naissance de l'intelligence, puis de la vie artificielles), ensuite en intervenant sur elles à la manière de l'ingénieur (biotechnologies, technologies cognitives, nanobiotechnologies, etc.). Le problème n'est plus de savoir jusqu'à quel point on peut ou on doit "transgresser" la nature. Le problème, c'est que la notion même de transgression est sur le

point de perdre tout sens. Or il n'y a pas d'éthique possible dans une société démocratique fondée sur la science et la technique sans procédures librement consenties par tous les citoyens pour fixer **des limites** à ce qui peut être réalisé. Une tension fondamentale se manifeste donc ici entre l'imaginaire qui gouverne les avancées technologiques et les conditions mêmes de l'éthique. Il faudra faire preuve de beaucoup de lucidité au sujet de cette tension si l'on veut éviter à terme des réactions violentes de rejet.

C'est évidemment surtout au sujet de lui-même et de sa propre nature, s'il reconnaît qu'il en a une, que l'homme devra décider des seuils de transformation de celle-ci au-delà duquel il ne veut pas aller.

L'astronome royal Sir Marin Rees résume les choses ainsi : « la nouveauté la plus importante est que les êtres humains eux-mêmes sont désormais capables de changer. Aux cours des dix derniers millénaires, le caractère de l'homme, son physique, n'ont guère changé. Mais dans les cent prochaines années, avec des médicaments ciblés, des modifications génétiques et peut-être l'implantation de micro ordinateurs dans le cerveau, l'être humain pourrait commencer à changer. Ce qui rend le siècle en cours encore moins prédictible que le précédent »³³.

La question de l'homme bionique est ici au cœur de la question éthique. Le débat a déjà commencé avec la thérapie génique, avec une conclusion favorable lorsqu'il s'agit de réparer une fonction déficiente, et défavorable lorsque l'amélioration des performances sensorielles et motrices de l'homme est envisagée. Les nanobiotechnologies feront à coup sûr éclater les distinctions trop sommaires sur lesquelles de telles conclusions contrastées reposent.

a3) Les effets sur le rapport à la connaissance (effets épistémiques)

A l'aube du dix-huitième siècle, le philosophe italien Jean-Baptiste Vico formula dans des termes célèbres le postulat de ce qu'il appela la « nouvelle science » : "*Verum et factum convertuntur*" (Ce qui est vrai et ce que l'on fait sont convertibles). Nous ne pouvons connaître rationnellement que ce dont nous sommes la cause, que ce que nous avons fabriqué. Par ordre décroissant de perfection de la connaissance, les mathématiques, selon ce critère, étaient classées en premier, suivies non par les sciences de la nature, mais par les sciences morales et politiques. Cependant, la science de la nature elle-même devait être dès les

commencements orientée par la conviction qu'on ne peut connaître qu'en faisant. L'insistance sur le comment des processus plutôt que sur l'être des choses s'explique ainsi, mais aussi et surtout le rôle considérable dévolu à l'expérimentation et à la modélisation par la science.

Avec les nanotechnologies, cette philosophie de la science devrait trouver son aboutissement ultime. Ce n'est plus seulement en faisant des expériences sur elle, ce n'est plus seulement en la modélisant, que les hommes connaîtront la nature. C'est littéralement en la re-faisant. Mais, du coup, ce n'est plus la nature qu'ils connaîtront, mais ce qu'ils auront fait. Ou plutôt, c'est l'idée même de nature, donc de donné extérieur à soi, qui apparaîtra comme dépassée. La distinction même entre connaître et faire tendra à perdre son sens, de même que celle qui sépare encore aujourd'hui le savant de l'ingénieur. On voit déjà aujourd'hui avec les seules biotechnologies que la distinction entre découverte et invention, sur laquelle repose le droit des brevets, est de plus en plus délicate à tracer, ainsi que l'attestent les débats sur la brevetabilité du vivant.

a4) Les effets sur la possibilité même de l'éthique (effets éthiques)

Les nanotechnologies ouvrent un continent immense que l'homme va devoir normer s'il veut leur donner sens et finalité. Il faudra que le sujet humain recoure à un surcroît de volonté et de conscience pour déterminer, non pas ce qu'il peut faire, mais bien ce qu'il *doit* faire. Il y faudra toute une éthique, infiniment plus exigeante que celle qui, aujourd'hui, se met lentement en place pour contenir le rythme et les dérives possibles des biotechnologies.

Qui dit "éthique", "conscience", "volonté" dit le triomphe du sujet. Mais que signifie ce triomphe dans une conception du monde qui traite la nature, y compris l'homme, comme une machine computationnelle ou comme un algorithme ? Cet homme qui s'est ainsi fait machine, au nom de quoi ou de qui va-t-il exercer son immense pouvoir sur la nature et sur lui-même ? Au nom du mécanisme auquel il s'identifie ? Au nom d'un sens dont il prétend qu'il n'est qu'apparence ou phénomène ? Sa volonté et ses choix ne peuvent qu'être suspendus dans le vide. L'élargissement sans limites du champ de l'éthique menace à terme la possibilité même de l'éthique.

a5) Les effets sur les catégories (effets métaphysiques)

On peut tout à la fois considérer que les métaphores mécanistes et informationnelles sur lesquelles se sont bâties tant les sciences cognitives que la biologie moléculaire sont scientifiquement et philosophiquement fausses et concéder qu'elles nous donnent une puissance d'agir et une maîtrise radicalement inédites sur le donné naturel et vivant. Si tel est le cas, les succès mêmes que remporteront les nouvelles technologies rendront les représentations mécanistes et informationnelles de la nature et de la vie incontestables et nul ne pourra plus voir qu'elles sont illusoires. Il n'est pas exagéré de parler d'effets métaphysiques.

L'effet le plus troublant est sans conteste le brouillage des distinctions catégorielles au moyen desquelles l'humanité, depuis qu'elle existe, s'est toujours repérée dans le monde. Le naturel non vivant, le vivant et l'artefact sont en bonne voie de fusionner.

Chacun des éléments de cette typologie, ici trop brièvement esquissée³⁴, mériterait une inscription dans le programme de recherche publics, y compris dans le département de sciences humaines et sociales du CNRS. Les résultats pourraient utilement enrichir les débats des divers comités d'éthique. Répétons que l'enjeu est ici essentiel, c'est celui des limites qu'une société, à un moment donné de son évolution, souhaite fixer pour rendre le cheminement de la recherche et de la technologie acceptable, et par conséquent effectivement appropriable par les citoyens qui la composent.

b) Vers une prise en compte institutionnelle progressive

Le Comité européen d'éthique a inscrit à son programme 2004 les questions éthiques soulevées par le développement des nouveaux moyens de communication et d'information et les nanotechnologies. Selon ce comité, la modification du concept d'identité de l'être humain sera au cœur des débats, en tenant compte des perspectives ouvertes par de nouvelles interfaces, non invasives et biocompatibles apportées par les nanotechnologies, entre l'homme et la machine.

Ces préoccupations rejoignent les priorités des appels d'offres de la Commission européenne dans le domaine des concepts du futur dans le programme NEST. A côté de la complexité dans la science et de la biologie de synthèse, ce programme identifie une troisième priorité qui se réfère aux sciences cognitives en rapport avec le progrès technologique, avec ce libellé singulier « Que signifie être humain ? ». Prenant acte de la NNI et des avancées financées notamment par la DARPA, il tente de stimuler les recherches en ce domaine tout en adoptant une approche prudente lorsqu'il s'agit d'appréhender le fonctionnement du cerveau dans ses dimensions relationnelles et émotionnelles.

Les appels d'offres du 6^{ème} PCRD en nanosciences/nanotechnologies imposent aux projets soumis de comporter un volet « éthique ». Toutefois, aucun des acteurs n'a été préparé à satisfaire cette exigence, pas plus ses concepteurs que les soumissionnaires ou les évaluateurs. Il reste donc des marges de perfectionnement considérables en ce domaine. Il est très important que les choix de recherche financés sur fonds publics soient effectués en connaissance de cause, sur la base de critères d'évaluation explicites, élaborés avec la participation des parties prenantes, sur la base de principes éthiques clairement définis.

Prenant acte des limites inhérentes à la méthode d'évaluation des risques et des impacts sociaux et éthiques, la communauté internationale a commencé à chercher un espace de dialogue pour un développement responsable en ce domaine. La réunion qui s'est tenue à Alexandria, sur l'initiative de la NSF en juin 2004 sur la thématique du développement international responsable des nanosciences et nanotechnologies, avait inscrit à son programme un groupe de travail sur les aspects socio-économiques et éthiques. (Cf partie 3 du rapport, infra).

Ce groupe a reconnu que les nanotechnologies commencent à être un sujet de dialogue dans la société, que la production de données factuelles, la mesure de la perception et l'explicitation des valeurs vont devenir partie intégrante des discussions entre les scientifiques, les gouvernements, les entreprises, des représentants de la société civile, des responsables de politiques publiques, des médias et de toute autre partie prenante.

Il a également mis en lumière la question éthique posée par l'« augmentation » des performances humaines, en tant que choix librement consenti ou non. Par exemple, qu'est-ce qui devrait être fait si un pays décidait d'opter en faveur d'une technique ou d'un produit

particulièrement controversé ? Cela créerait-il une pression sur les autres pays, sommés de choisir ou d'exclure (*opt in* ou *opt out*) cette technique ou ce produit ? Des pressions s'exerceraient-elles sur le pays qui a décidé d'aller de l'avant et de quels recours bénéficieraient les uns et les autres sur cette question³⁵ ?

La position de l'Autriche diffusée au Conseil Compétitivité du 24 septembre 2004 est très claire sur cette question : « considérant les premiers résultats sur les questions induites par les nanotechnologies disponibles dans les domaines de l'impact sur la santé publique, la sûreté et la protection des consommateurs et de l'environnement, la recherche sur la sécurité doit continuer d'être soutenue en Europe. Un accès public aux résultats ainsi que leur diffusion active et leur application sont de la plus haute importance pour prévenir des erreurs qui ont été faites dans d'autres domaines de recherche. Un dialogue responsable avec les parties concernées (recherche, industrie, secteur public, consommateurs et représentants professionnels) doit être mis en place³⁶ ».

Toutefois cette position est optimiste au regard de la nature et de la qualité des résultats disponibles, les outils d'observation étant encore très fragmentés et par conséquent inaptes, en l'état, à fournir un panorama satisfaisant. Surtout, elle semble faire peu de cas du manque de conceptualisation et d'outils méthodologiques adéquats pour procéder à une authentique évaluation normative, selon les lignes esquissées plus hautes.

En France, le Comité consultatif national d'éthique (CCNE) a créé en 2004 un groupe de travail spécialisé dans les nanotechnologies. Notre mission a contribué à relier ce groupe au réseau micro nanotechnologies (RMNT) d'une part³⁷, au comité national d'éthique du CNRS d'autre part, mais les initiatives butent, là encore, sur l'absence de méthodologie d'évaluation.

La recherche sur l'évaluation des risques et les études de toxico/écotoxicologie sont certainement bienvenues et utiles, mais elles ne contribueront que pour une faible part à apporter aux consommateurs et citoyens la preuve de sûreté dont ils ont besoin pour pouvoir soutenir le développement des nanotechnologies, ainsi que des réponses aux questions qu'inévitablement ils seront amenés à se poser sur le sens et les finalités des avancées technologiques.

Un risque important réside dans le déni de l'existence même de tout risque sur la base factice que les données factuelles mesurables et interprétables manquent. Facile à maintenir, la confiance du public est pratiquement impossible à reconstruire avant une génération lorsqu'il s'avère qu'elle a été abusée. La dimension éthique apparaît alors comme un enjeu fondamental non seulement de l'acceptabilité, mais de l'orientation et de la matérialisation à venir des avancées espérées par les nanotechnologies.

Pratiquement, les industriels reconnaissent que les risques sanitaires liés à la production et à l'usage de nanotubes de carbone ne sont pas clairement établis et pourraient constituer un point bloquant qu'il convient d'éviter. Une coordination de la prise en compte de ces risques et une communication appropriées sont particulièrement nécessaires sur ce sujet, estime un représentant d'ATOFINA³⁸, société qui dispose d'un démonstrateur de production de 10t/jour de nanotubes de carbone à un prix de revient inférieur à 10 €/kg, soit 10 fois moins que le coût de référence de la société Nanoledge.

La prise de conscience institutionnelle des enjeux éthiques au travers de la question des limites a commencé récemment. A mesure que l'on connaîtra mieux les risques industriels et qu'on saura mieux les évaluer, cette prise de conscience progressera. Cela restera insuffisant tant que les enjeux éthiques au-delà de l'analyse des risques ne seront pas mieux appréhendés. En tout état de cause, des résistances, en grande partie d'ordre culturel, sont à prévoir.

c) Les obstacles culturels au traitement de la question éthique

Il existe aujourd'hui des obstacles importants à l'introduction d'une problématique éthique dans le domaine des nanotechnologies. Ces obstacles sont liés d'une part à la peur d'un moratoire dans les relations transatlantiques, et d'autre part aux enjeux industriels et culturels sous-jacents.

Tous les pays ne livrent pas à l'observation publique internationale les tendances de fond qui structurent leur société. Les Etats-Unis, de ce point de vue, sont plutôt plus accessibles à l'analyse que d'autres. Dans ce pays, deux courants positifs se renforcent pour accélérer le développement des applications rendues possibles par les nanotechnologies, même s'ils présentent des différences substantielles de communication.³⁹

D'une part, se manifeste un courant que nous qualifierons de « progressiste éclairé », pour lequel il s'agit de promouvoir le progrès dans les domaines d'intérêt général en adoptant une attitude responsable quant aux applications des découvertes et de leurs combinaisons pluridisciplinaires. Ces dernières sont présentées dans un contexte historico-philosophique positif : leur ampleur et leurs ondes de choc porteraient une nouvelle Renaissance. La promotion de l'attitude responsable s'accompagne d'un investissement minimal dans les études de toxicité et d'écotoxicité, mais ne considère pas à proprement parler la question de l'éthique comme fondamentale. Le sous-entendu est que l'éthique s'adaptera, parce qu'elle doit le faire, à la nouvelle donne engendrée par la technologie. Le positif l'emporte sur le négatif de façon *quasi* axiomatique.

D'autre part, un courant que nous qualifierons de « libertarien » vise à affirmer le droit inaliénable de chaque individu de choisir, pour lui-même, une capacité ponctuelle ou combinée, réversible ou irréversible, d'augmentation de ses performances sensorielles et motrices, via une interface homme-machine « banalisée » par les nanotechnologies vision portée par les « transhumaniens »⁴⁰. Selon ce courant, toute forme de limite est illégitime et par conséquent la question éthique ne se pose pas. Le positif individuel l'emporte sur l'approche collective et l'éventuel négatif, de façon *absolument* axiomatique. Ou plus précisément, la question éthique se résout dans la négation de l'intervention publique, perçue comme liberticide voire contraire à la constitution américaine.

Dans l'Union européenne, l'enjeu éthique n'est pas suffisamment perçu, comme le montre ce projet du 6^{ème} PCRD, intitulé « Feuille de route nano » (NanoRoadMap)⁴¹ sur la période janvier 2004 - juin 2006. Ce projet porte sur les applications prévisibles des nanotechnologies dans des secteurs aussi importants que l'énergie, les matériaux, et les technologies médicales, compte tenu de leur contribution espérée à la compétitivité, à la croissance et à l'emploi. Toutefois les enjeux éthiques sont absents du cahier des charges de cette feuille de route, comme si la société pouvait en faire l'économie.

La question éminemment éthique des limites aux possibilités ouvertes par les nanotechnologies n'étant pas, ou mal posée, la conséquence immédiate en est le risque de décalage fort et à court terme des perceptions des opinions publiques dans l'Union

européenne et dans le reste du monde, avec des effets très incertains sur la poursuite de l'appui public aux développements scientifiques et technologiques en ce domaine.

La question de la relation entre l'éthique et l'acceptation sociale peut recevoir des traitements fort divers. Les réalistes et les cyniques font valoir que la logique des intérêts, de toute façon, l'emportera, qu'elle conduise ou non à violer des exigences éthiques fortement ancrées dans la conscience commune, car cet ancrage, pensent-ils, est contingent, en partie arbitraire, donc non pérenne. Cependant, l'expérience historique montre que lorsque la divergence est trop forte entre technique et éthique, les tensions sociales qui en résultent créent des dommages et des souffrances parfois irréversibles. Les spécialistes d'éthique évoquent à ce sujet un principe de « divergence tolérable » entre les faits et les valeurs. Même les réalistes devraient donc éviter de passer la question éthique par pertes et profits.

Il est remarquable de ce point de vue que le Japon envisage d'établir une réflexion sur les aspects éthiques lorsqu'il officialisera son initiative nationale en faveur des nanotechnologies, en cours de définition à l'échelon interministériel. Le Dr Kazuharu SHIMIZU, directeur général adjoint du conseil pour la science et la politique technologique (*Cabinet Office*) écrivait le 4 avril 2004 : « *by applying nanotechnology (...) these progresses may cause a drastic change of social systems, industrial structure and individual life. In order to be ready for such drastic change, innovation and education system, and effective measure in social scientific field such as economy, legal matter, ethic and culture, have to be discussed* »⁴².

La Russie ne semble pas devoir se doter à court terme d'une telle approche. Quant à la position officielle américaine, telle qu'exprimée par le sous-secrétaire d'Etat au Commerce pour les technologies (M. Philip J. Bond), elle consiste d'abord à exiger un retour significatif sur investissement fait par la NNI, les priorités des applications étant données à la sécurité intérieure et la lutte contre le terrorisme d'une part, à la création d'emplois qualifiés sur le sol américain d'autre part.

Il convient toutefois de noter que 1 % des sommes fédérales allouées à la recherche nanotechnologique doivent aller à des recherches sur les implications sociales et éthiques. Grâce à cette manne, des universités telles que Stanford ou l'université de Caroline du Sud à Columbia, sont en train de mettre sur pied des instituts de recherche dédiés à ces questions, auxquels participent d'éminents chercheurs en sciences humaines et philosophiques. Il est

donc à prévoir que, dans ce domaine aussi, les USA vont prendre la tête. Les deux signataires de cette mission collaborent, à un titre ou à un autre, à cet effort d'outre-Atlantique.

On peut cependant dire que, de façon générale, dans la course à la compétitivité comme dans la course aux armements, la question des limites aux applications des nanotechnologies reste le parent pauvre. Il se pourrait que ce soit une option de court terme, et que dans l'avenir un avantage compétitif soit précisément trouvé dans la capacité d'*anticipation* et d'accompagnement de la tolérance sociétale, des mécanismes d'appropriation et des modes d'expression.

Répétons que les effets des nanotechnologies qui nous intéressent ici ne sont pas seulement les effets de la technologie en tant que telle, mais aussi les effets des idées qui tirent les technologies, que les réalisations technologiques voient ou non le jour.⁴³ Les modes de représentation collective et les forces présentes dans leur évolution sont ici un enjeu majeur, dont la portée justifie une attention structurée et continue des pouvoirs publics, ne serait-ce que pour mieux les comprendre.

Les difficultés mentionnées dans la juste prise en compte de la dimension éthique et de sa mise en tension face aux enjeux géostratégiques et de compétitivité s'accroissent considérablement si l'on considère les nanotechnologies dans leur biotope naturel, à savoir au cœur d'un processus de méta-convergence industrielle. La deuxième partie du rapport sera consacrée à la réalité de cette méta-convergence, aux différences d'approche des deux côtés de l'Atlantique et aux conséquences potentielles sur l'innovation et les échanges.

PARTIE 2 : NANOTECHNOLOGIES ET META-CONVERGENCE

La problématique de la convergence est traditionnelle dans le domaine des technologies de l'information : télécommunication et informatique, puis ces deux-ci avec les technologies audiovisuelles et le passage à la mobilité des biens et des services. Les combinaisons dont il est question ici sont nettement plus « contre- intuitives » dans la mesure où elles transcendent dorénavant des filières scientifiques et technologiques traditionnellement fortement cloisonnées, de la conception à la mise sur le marché.

La problématique de la méta-convergence relève en 2004 plus de la prospective que de la réalité. Toutefois, les combinaisons d'input provenant d'au moins deux filières distinctes commencent à apparaître, selon des rythmes contrastés. L'objet de cette partie est de présenter succinctement les potentialités et leur intérêt économique lorsqu'elles résultent de la convergence de technologies ayant en caractéristique propre une capacité d'entraînement sur le reste de l'économie.

Notre mission estime que **la convergence de technologies à capacité transformationnelle crée des opportunités jamais égalées, pour lesquelles l'acquisition volontariste d'une spécialisation internationale favorable se justifie.**

1. La place des nanotechnologies dans la prochaine vague technologique

Nous aborderons successivement les convergences par combinaisons deux à deux, celles par combinaisons multiples, et enfin celles impliquant la dimension cognitive comme devant jouer un rôle spécifique.

a) Les convergences par combinaisons simples font référence aux productions obtenues à partir de la combinaison des nanotechnologies avec les technologies de l'information et de la communication, ou les biotechnologies essentiellement, ou encore le rapprochement de la biologie et des TIC à l'échelon submicronique.

La miniaturisation de composants électroniques a déjà atteint l'échelle nanométrique et fait l'objet d'une vision partagée quant aux rythmes de diminution des tailles : 90 nanomètres pour une mémoire DRAM en 2004, 32 nanomètres annoncés en 2013 par exemple par la

feuille de route internationale ITRS. Un composant verra sa capacité d'intégration passer d'1 milliard de transistors à une puissance 16 fois plus grande en 6 ans. La réduction des coûts et des dimensions ouvre la voie à des usages irriguant toute la société, ainsi que des perspectives nouvelles de mise au point des services dits d'environnement intelligent (réalité virtuelle, réalité accrue, dissémination ciblée de l'information pertinente, utilisation d'artefacts, d'avatars...).

Toutefois des goulots d'étranglement apparaissent, en termes de qualifications disponibles pour l'ingénierie quantique, ou encore de capacités de production fondées sur l'auto organisation et l'informatique moléculaire (*bottom up*, usage de l'ADN, etc.). La spintronique manipule des courants de spin dans des nanostructures associant matériaux magnétiques et non magnétiques. Des recherches importantes sont en cours dans deux domaines : le domaine du transfert de spin, qui permet de réorienter l'aimantation d'un élément ferromagnétique *sans application de champ magnétique*, par transfusion de spins transportés par un courant électrique, ainsi que le domaine de la nanospintronique. Celle-ci évolue vers les nanoparticules, les boîtes quantiques et le calcul quantique. L'injection de spin dans les nanoparticules est l'un des axes, sachant que « le temps de vie du spin est d'autant plus long que la taille de la particule est petite⁴⁴ ».

La connectique optique par cristaux photoniques, nécessaire à la miniaturisation, dépend étroitement des progrès des nanotechnologies. Un cristal photonique aux longueurs d'onde proches de l'infrarouge est formé de motifs de l'ordre de 100 nanomètres, et la précision nécessaire pour réaliser des composants performants est inférieure ou égale à 10 nanomètres, soit l'échelle de précision de la microélectronique sur silicium. La fabrication de cristaux photoniques tri-dimensionnels est désormais possible, se rapprochant ainsi d'un objectif qui semblait être du domaine du rêve : « manipuler le flux de lumière dans les trois directions de l'espace et contrôler de manière ultime l'émission spontanée de lumière ».⁴⁵

La combinaison des nanotechnologies et de la biologie est également à l'œuvre. Elle porte notamment sur les techniques de compression et d'enrichissement de l'ADN, la protéomique, les organismes vivants manufacturés à partir de nanoéléments synthétiques (en particulier des virus), la production d'organismes vivants extrêmement petits. Les applications en technologies médicales sont porteuses d'un espoir grandissant, à mettre en relation avec le risque d'attitude hostile du public au regard des dérives potentielles, qui relèvent plus de la

finalité que de la survenance accidentelle. Les biopuces de haute densité font l'objet d'une concurrence importante au plan mondial.

b. Les convergences par combinaisons multiples expriment une réalité de la métaconvergence industrielle.

En effet, les combinaisons deux à deux ne décrivent pas à elles seules les réalités industrielles. Il convient d'associer au moins trois filières pour identifier les applications à meilleure valeur ajoutée.

Ainsi de la combinaison des nanotechnologies, des biotechnologies et des TIC, qui requiert un savoir-faire interdisciplinaire nouveau favorisé par une instrumentation et des équipements mis en commun. Les capteurs biologiques organisés en réseau présentent une fiabilité importante utilisable dans les lignes de fabrication. Des systèmes avancés de diffusion ciblée pour la détection et la destruction des cellules cancéreuses, ou pour le monitoring à distance pour des applications de santé, offrent des perspectives de marché significatives, en même temps que des économies dans les coûts d'assurance maladie. De façon plus prospective, il pourrait être fait référence aux systèmes de « peau active » utilisant la perception ou la sensation de perception à distance du toucher (l'un des éléments de ce qu'il est convenu d'appeler la perception de présence à distance).

c) La place singulière de la science cognitive et des neurotechnologies

Les sciences cognitives ne se limitent pas au savoir mais couvrent tout le champ de la psychologie scientifique et de ses contreparties en philosophie, en logique et dans les sciences de l'homme en général.

Tandis que la société de l'information considère le savoir comme une donnée, la science cognitive recherche les conditions selon lesquelles un agent acquiert, retient, perd, transforme, communique une connaissance, c'est-à-dire l'ensemble des compétences et représentations dont le savoir est la partie perceptible.⁴⁶ C'est un domaine interdisciplinaire qui essaie de comprendre comment le cerveau humain est apte à l'apprentissage, au langage, au raisonnement, à la pensée, aux émotions, à l'action, aux relations sociales et au comportement.

Le décodage de l'information dans les réseaux neuronaux pour la transformer en signaux de commandes, par la pensée, des moyens externes tels que des robots ou ordinateurs, est un enjeu-clé pour les applications de la méta-convergence incluant la science cognitive et les neurotechnologies. Ces dernières sont matérialisées par un ensemble d'outils capables d'influencer le système nerveux central. L'avenir de la recherche est au passage des technologies *in vitro* utilisant des électrodes tridimensionnelles (pointes) aux technologies *in vivo* reposant sur l'implantation de batteries d'électrodes souples. Le test de ces dernières et la rapidité de leur mise au point dépendent en partie de l'attitude sociétale au regard des cellules souches et du clonage des organismes vivants, compris comme un accélérateur.

Les applications industrielles de la convergence des sciences cognitives avec les technologies à forte capacité transformationnelle que sont les nanotechnologies, les TIC et les biotechnologies sont extrêmement utiles dans les problématiques de réparation de fonctions vitales atteintes (maladies de Parkinson, d'Alzheimer, hémiplégie due à un accident cérébrovasculaire...) quelles qu'en soient les causes (violente pour le combattant, accidentelle ou due à l'âge pour les autres). Elles ouvrent aussi la voie aux augmentations de capacité, par voie de conséquence, aux modifications de productivité, de créativité, d'attitude, voire de personnalité. Elles sont donc plutôt plus susceptibles que d'autres d'être soumises à la question des limites.

L'éducation dans la société de l'information est elle-même susceptible de bénéficier de la méta-convergence centrée sur la méthodologie de la répétition cognitive (*cognitive walkthrough*). Celle-ci sélectionne des espaces sémantiques adaptés au public concerné sur la base de l'analyse sémantique latente plutôt que sur celle d'évaluateurs subjectifs, accroissant ainsi l'efficacité de l'apprentissage. Incluse dans un assistant personnel sollicitable à distance et à volonté, elle laisse envisager de multiples applications dans la formation initiale, continuée, et dans les pratiques professionnelles en milieux pluriculturel et multilinguistique.

2. Les divergences d'approche NBIC/ CTs

L'année 2004 a vu l'expression, sous la responsabilité d'un groupe d'experts réunis par la Commission européenne, d'une réponse au rapport de la National Science Foundation sur la Convergence NBIC. Nous relaterons dans cette sous-partie les spécificités du rapport NSF du point de vue de l'éthique et de la méta-convergence ; nous présenterons en contrepoint l'originalité de l'approche européenne, qui se traduit par des concepts différents de ceux qui sous-tendent l'acronyme NBIC, cette différence renvoyant à des finalités distinctes. Nous achèverons ce développement par une synthèse succincte des enjeux des technologies duales et par un examen des conséquences potentielles sur la compétitivité et la cohésion sociale de cette différence d'approche.

a) La NSF et la problématique de l'augmentation des performances

La problématique de l'augmentation des performances humaines a été accueillie comme l'un des axes susceptibles d'assurer la promotion de l'initiative NNI, tout en apportant, du moins dans les discours médiatisés, « la part du rêve » en toute sécurité. Cependant, l'arbre, ici, ne doit pas cacher la forêt. La NNI américaine consacre 45 % de ses moyens budgétaires pour la recherche aux nanostructures synthétiques (physiques, biologiques, électroniques, optiques et magnétiques, et 20 % à l'architecture de systèmes (interconnexion, intégration). La nanoélectronique, l'optoélectronique et l'électronique magnétique représentent pour leur part 39 % des programmes identifiés comme porteurs des grands défis, auxquels s'ajoutent les matériaux nanostructurés pour 22 %. En contrepoint la recherche sur les biosystèmes à l'échelle nanométrique ne représente que 14 % de l'effort financé par la NNI.

La miniaturisation des produits et services issus de la filière électroniques reste donc bien au cœur et dans le prolongement de la spécialisation internationale des Etats-Unis dans les technologies avancées de la société de l'information. Les options de défense stratégique contre les effets de l'arme électromagnétique dans ce qu'il est convenu de désigner par le terme de guerre électronique, sont également présentes en filigrane dans l'orientation de la recherche fondamentale.

L'accompagnement du marché est également présent dès l'amont du processus de soutien public à la recherche, avec une dotation dédiée aux processus de fabrication à l'échelle nanométrique et l'investissement dans l'instrumentation et la métrologie.

Le nouveau paradigme inauguré par le XXIème siècle serait induit par la convergence NBIC, selon un schéma proposé par MM. Roco et Bainbridge dans leurs ouvrages de 2001 et 2003 cités en annexe. L'appréhension complète de la réalité ou de la nature (comprise comme un algorithme sur lequel l'homme peut exercer son contrôle), objectif sur lequel sont venus buter tous les anciens paradigmes, serait rendue pour la première fois accessible par la convergence, « avec l'aide de l'interface homme-ordinateur qui permettrait aux hommes d'apprendre à concevoir et réaliser des machines et des systèmes d'information capables de les aider à utiliser le maximum leur potentiel. ».

L'artificialisation de la nature et la naturalisation de l'homme sont traitées comme un fait accompli par l'approche américaine de la NSF, sous réserve de l'appréciation des risques au sens de la causalité simple ou éventuellement systémique de l'écotoxicologie. La voie est par conséquent ouverte au progrès rapide dans tous les domaines des technologies à capacité transformationnelle et dans leur convergence. Le rôle des pouvoirs publics consiste à établir un ensemble de conditions favorables à l'initiative privée tout en garantissant l'acceptabilité par l'opinion publique.

b. Le rapport d'experts de la Commission européenne et la question de la finalité

La Commission européenne a réuni d'octobre 2003 à septembre 2004 un groupe multidisciplinaire d'experts pour établir un référentiel européen sur les questions évoquées par le rapport NBIC de la NSF, en avançant d'autres options que ce dernier, et ce dans le cadre d'un exercice de prospective des technologies convergentes à l'horizon 2020. Les signataires de ce rapport ont participé à ce groupe d'experts et ont été amenés à produire, sous leur responsabilité propre d'auteurs, des contributions ciblées citées en annexe. Les résultats de ce groupe n'engagent pas la Commission européenne. Toutefois, de l'avis de M. Theodius Lennon, directeur de la prospective à la DG Recherche, ils ont vocation à être incorporés dans le processus de la révision de l'agenda de Lisbonne et à fournir des éléments pour l'orientation des politiques publiques communautaires sur la société de la connaissance.

Les effets économiques des technologies convergentes, qui n'étaient pas au centre des travaux, ont néanmoins été explicités à notre demande sur la base de scénarios dans un document spécifique⁴⁷, préparé quant à ses recommandations principales sur la base des travaux animés par l'un des deux auteurs du présent rapport⁴⁸. Le document final conserve une forte connotation sociétale dans le contexte de l'analyse historique de l'appropriation des technologies.

Les modèles de sociétés, avec leurs valeurs, le sens des objectifs qu'elles se donnent et les priorités et limites qu'elles se fixent, sont vulnérables à la montée en puissance de la méta-convergence industrielle projetée dans le demi-siècle à venir.

L'artificialisation de la nature a montré les limites de son acceptabilité avec les réactions parfois violentes contre les OGM. Que dire du processus de la naturalisation de l'homme si par elle nous entendons que « nous sommes naturels dans l'exacte mesure que nous pouvons devenir des artifices, des produits scientifiques, que nous pouvons être transformés, améliorés, économisés, exploités en utilisant les lois de la nature » ?⁴⁹

La combinaison des nano-implants biocompatibles, alliée à la possibilité de créer par bio-ingénierie des nœuds neuronaux et d'influencer le fonctionnement du cerveau à distance, dote les technologues d'outils d'intervention sur la « conscience », vue comme la globalisation de la mémoire, de la perception de présence, de la finalité de l'agir et de la volonté. La communauté scientifique cantonne pour l'instant ses intentions à l'activité réparatrice, (on ne va pas modifier la pensée, mais seulement court-circuiter ce qui ne marche pas). Mais qu'en est-il des intentions sociétales ?

Le groupe européen d'experts a pris essentiellement ses distances avec le rapport de la NSF sur un point, celui de la **finalité** poursuivie dans l'orientation de la recherche fondamentale et appliquée.

Le groupe a estimé que, compte tenu de la mosaïque culturelle structurelle de l'Union européenne, l'apport de la méta-convergence industrielle devrait être utilisé *au service de l'homme* par les autorités publiques. Il s'est représenté, à tort ou à raison, la finalité propre à l'approche de la NSF comme étant en priorité au service de la compétitivité économique, au détriment éventuel de l'homme, de ses valeurs et de ses droits fondamentaux.

S'il y a une conciliation possible entre les approches américaine et européenne, elle reste complètement à construire.

Le groupe a également considéré que le rythme des découvertes était tel qu'il excède d'ores et déjà la capacité d'évaluer la technologie *en amont* de sa diffusion, optant ainsi implicitement pour un devoir de vigilance collectif. Il a souhaité que l'on puisse accompagner, à la même vitesse que leur développement et, si possible, en l'anticipant, la marche en avant des nanotechnologies, par des études d'impact et un suivi permanent, non moins interdisciplinaires que les nanosciences elles-mêmes. Une sorte de mise en réflexivité en temps réel du changement scientifique et technique serait ainsi une première dans l'histoire de l'humanité. Elle est sans doute rendue inévitable par l'accélération des phénomènes.

c) La question ouverte des technologies duales et la qualité de la concurrence

Les marchés civils et militaires sont distincts du point de vue des spécifications et des segmentations. Les innovations conçues pour les uns peuvent parfois être transférées aux autres à moindre coût. En ce qui concerne la défense, la contribution des nanotechnologies est attendue dans de multiples domaines⁵⁰, dont : les nanomatériaux énergétiques, la protection du combattant, la détection et la transmission de l'information et la gestion des communications, les actions télécommandées, les appareils aéronautiques et spatiaux et la fourniture d'énergie.

La capacité transformationnelle des technologies convergentes est potentiellement tirée par la poursuite de la baisse des coûts des TIC. Selon une vision *prospective*, d'ici 2024, un ordinateur individuel serait 8 000 fois plus puissant que ceux de 2004... ou coûterait, pour la même puissance que celle disponible en 2004, seulement 20 cents et tiendrait dans le volume d'un bouton de chemise⁵¹. Toutefois il convient d'estimer également l'ordre de grandeur du coût d'une ligne de fabrication de transistors sur grille de 7 nm, prévue en 2018 par la version 2003 de la feuille de route ITRS, qui sera a priori plus cher que le coût actuel (2,5 G\$). Pour mémoire, l'investissement de Crolles II est estimé à 3,5 milliards d'euros.

Les nanotechnologies sont d'ores et déjà utilisées pour créer des réseaux de capteurs qui peuvent détecter et identifier des polluants chimiques ou des agents bactériologiques pratiquement dès leur survenance dans un environnement donnée. Si cette technologie est

d'abord utilisée pour la défense militaire, elle peut être adaptée aux technologies médicales en quelques années.

Les processus industriels destinés aux applications civiles et fondés sur la fabrication moléculaire auraient, selon Chris Phoenix et Eric Drexler, le potentiel suffisant pour désorganiser profondément l'économie et les relations internationales. Ces auteurs estiment qu'un pays qui ferait le plein usage de ce potentiel verrait son multiplié par un facteur de 10 ou plus chaque année, obligeant les responsables des politiques publiques à composer avec les évolutions considérables et rapides dans la production des richesses et des ressources.

Dans le même ordre d'idées, Bill Joy, l'un des principaux informaticiens américains, inventeur du programme Java et cofondateur de Sun Microsystems, a évalué que la combinaison des TIC et de l'utilisation physique des nanotechnologies créerait au XXIème siècle une richesse d'un million de milliards de dollars, soit l'équivalent de 100 fois l'économie des Etats-Unis au marché mondial.

La dualité des nanotechnologies dans la méta-convergence industrielle pose la question de l'avantage compétitif produit par le financement militaire de débouchés civils. Outre la protection absolue des avancées scientifiques et l'interdiction de publier les éléments qui seraient de nature à porter atteinte à la sécurité nationale, et les transferts de technologie ciblés qu'elles permettent, cet avantage compétitif se double d'une orientation potentiellement forte des finalités de la recherche, y compris dans leur impact sociétal.

Ainsi la DARPA disposait en 2004 d'un budget de 445 millions de dollars pour le soutien aux nanomatériaux, nanosciences et techniques associées, avec un fort ancrage de la convergence NBIC. Le programme LifeLog de cette agence, rebaptisé depuis officiellement pour des raisons de controverse dans l'opinion publique, avait pour ambition de concevoir une nouvelle génération de systèmes cognitifs sous forme d'assistants personnels.

3. Les risques pesant sur l'innovation et les échanges

L'investissement a besoin de visibilité, de lisibilité des règles du jeu et de confiance dans le jeu des acteurs pour se réaliser. L'innovation et les échanges méritent certainement d'être encouragés par les politiques publiques pour assurer l'essor des nanotechnologies. Il convient

par conséquent d'identifier les limitations à l'investissement afin de proposer les actions publiques les plus appropriées. Notre mission n'a pas réalisé de panorama exhaustif, toutefois elle peut, avec une assurance raisonnée, mettre en avant deux pistes : l'inadaptation de la loi, d'abord, la difficulté relative aux brevets et à la protection de la propriété intellectuelle, ensuite.

a) De la nécessaire évolution du cadre réglementaire

Le marché a besoin d'un cadre stable et aussi prévisible que possible pour se développer dans la durée, sauf à vouloir privilégier des comportements hautement spéculatifs. Les contraintes en termes de sécurité et de prévention des risques industriels coûtent cher à respecter, surtout lorsqu'elles surviennent alors que les processus sont déjà en place. Il est plus économique de concevoir et de mettre en place les systèmes de prudence en même temps que les processus eux-mêmes quand cela est possible. Toutefois nous butons collectivement sur l'indisponibilité de résultats d'études d'impact, sur l'absence de caractérisation des risques, sur la difficulté à appréhender leur nature, leur contrepartie financière assurantielle ou contentieuse, et sur le déficit flagrant de conceptualisation adéquate.

Les implications juridiques des nanotechnologies sont en pratique complètement inconnues à ce jour. Il en est de même a fortiori de celles de la méta-convergence industrielle. Au sein de l'Union européenne, les entreprises doivent respecter l'obligation de publier dans leur rapport annuel, avec la présentation des comptes, l'estimation des coûts qui seraient supportés par l'entreprise en cas de dommages à l'environnement du fait de leur activité.

Les investisseurs cherchent à minimiser l'incertitude. Comment intéresser la Bourse, ou, en amont des introductions en Bourse, le capital-risque aux investissements nécessaires en recherche appliquée et à l'émergence de jeunes entreprises ? Des entités comme Sofinnova Partners, la CdC-PME ou BioMérieux sont en droit de connaître avec précision les régulations publiques qui s'appliqueront aux productions dont elles espèrent obtenir un juste retour sur investissement.

Pour cela il semble nécessaire de coopérer aux plans européen et international pour la détermination des composantes du cadre réglementaire susceptible d'encadrer un développement des nanotechnologies digne de la confiance de tous, avec les procédures de

contrôle et de sanction à déterminer en concertation avec toutes les parties prenantes. Si la sur-régulation a un effet négatif sur l'innovation, l'absence de régulation nuit directement au marché. Un équilibre devra donc être activement recherché et trouvé, dans un esprit coopératif, parce qu'il s'accorde avec l'intérêt général.

b) De la question cruciale des normes et droits de propriété intellectuelle

Etant donnée l'importance du marché potentiel ouvert par les nanotechnologies, les fondements de normes appropriées doivent être mis en place pour s'assurer que les organismes chargés de la commercialisation en Europe peuvent bénéficier pleinement de cette évolution dès que les seuils de rentabilité seront atteints. Du point de vue de la normalisation, les nanotechnologies sont considérées comme une discipline transversale par nature, entourant et combinant des secteurs pertinents tels que les technologies chimiques, physiques, biologiques et de l'information.

Dans le cadre du Centre européen de normalisation, les champs pertinents identifiés sont la normalisation de la métrologie de base en appui à la nanotechnologie, la détermination de propriétés physiques, la caractérisation des structures et les propriétés biologiques et l'évaluation, à l'échelle du nanomètre.

La terminologie et la classification sont inclus parmi les axes de travail explorés par le WG 166, nouveau groupe de travail européen du CEN sur les nanotechnologies. Ce groupe a produit un questionnaire d'évaluation de l'intérêt rencontré par son objet auprès des parties prenantes potentielles au processus. Toutefois, tant que les nanotechnologies ne sont pas fermement ancrées dans les pratiques industrielles, il est peu probable qu'un comité technique de normalisation européenne puisse piloter et maîtriser les travaux sur seuls financements privés. Des fonds publics d'appui à la classification et à la normalisation seront donc vraisemblablement nécessaires pour s'assurer qu'aucun retard n'est pris.

Dans le même temps, reflétant un consensus émergent et poussé par l'administration fédérale, l'ANSI (American National Standards Institute) Nanotechnology Terminology Steering Panel a tenu sa première réunion en septembre 2004 aux Etats-Unis. Selon le Dr Peter Hatto, observateur britannique du CEN, un consensus assez large a été obtenu pour proposer le passage direct à une normalisation internationale dans le cadre de l'ISO, avec secrétariat

américain. La mission de la section commune est alors intervenue auprès d'un certain nombre d'interlocuteurs pour qu'au minimum soit envisagé un secrétariat partagé US-UE, position qui a été arrêtée, *in extremis*, lors de la réunion du groupe de travail de CEN début octobre 2004. Cette position s'appuiera sur les accords dits « de Vienne », qui permettent de gérer et de coordonner des initiatives ISO/CEN⁵².

L'AFNOR a joué un rôle actif qui mérite d'être encouragé par les pouvoirs publics français, en établissant un panel d'entités susceptibles de contribuer pratiquement à l'élaboration des normes, en marquant ses positions au sein du CEN, et en diffusant le premier questionnaire spécifique aux nanotechnologies⁵³. Elle rencontre toutefois des difficultés liées au caractère à la fois émergent et transversal des nanotechnologies, qui se logent à l'intersection de « territoires de normalisation » aux frontières bien établies.

En dépit de ces difficultés, il convient d'éviter tout ralentissement dans le processus qui s'engage, le risque le plus grand étant un décrochage de la dimension internationale vers laquelle se dirige, d'entrée, la normalisation dans le domaine des nanotechnologies.

L'AFNOR dirige par ailleurs depuis mars 2004 des groupes de travail européens et nationaux sur l'évaluation des risques (CEN WG 160 « *Risk assessment* », et CNRISQUE, ou commission nationale « évaluation des risques »).

Il serait souhaitable que la dimension « risques industriels » des nanotechnologies soit prise en compte d'une manière ou d'une autre par les instances de normalisation, et que les résultats auxquels elles arrivent puissent être utilisés sans délai dans le dialogue international. D'autres points d'entrée dans cette problématique sont ouverts ou à susciter (hygiène et sécurité au travail, orientation des programmes d'action de l'INRS pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles, de l'INERIS et de l'IFVS en particulier, à partir de 2005).

La propriété intellectuelle est une source de rémunération des investissements consentis dans la conception et l'innovation. Sa protection est par conséquent une condition forte à la mobilisation des fonds. S'agissant des nanotechnologies, les **brevets** sont acceptés par les offices nationaux sans que ceux-ci aient mis en place une grille fine de classification permettant aux observateurs d'isoler ce qui relève stricto sensu des nanotechnologies. La

lecture des brevets déposés s'effectue dans les rubriques classiques. Compte tenu de la croissance des demandes de brevets incorporant des nanotechnologies, les USA ont décidé en octobre 2004 d'étudier la définition d'une nouvelle classe de brevets répondant aux critères combinés de nanotechnologie et d'innovation. Une classification comparable à l'OEB comme pour le brevet communautaire devraient être envisagés sans délai.

Les statistiques de l'USPTO et de l'OEB montrent que l'origine scientifique des brevets de nanotechnologie est dispersée sur plusieurs sciences dont aucune n'est dominante. Les trois sources les plus importantes sont la chimie (21 % des brevets), la catégorie multidisciplinaire, reflétant concrètement la convergence (16 %) et la physique appliquée. La science des matériaux recueille 4 % des brevets. Les grands groupes américains tels que DuPont de Nemours, Dow Chemical, Procter et Gamble, IBM, se constituent un portefeuille de brevets qu'ils optimisent. L'Oreal dépose également des brevets dans son domaine.

La brevetabilité est une question éthique qui ne s'est pas encore clairement posée dans le domaine des nanotechnologies et de leur méta-convergence, en particulier lorsque le vivant entre en ligne de compte. De nombreuses questions juridiques, en aval de l'éthique, vont être soulevées au fur et à mesure des mises sur le marché si un cadre réglementaire sécurisant les investissements (le choix de déposer un brevet signe un investissement...) n'est pas rapidement défini. Les domaines situés au confluent des nano, neuro et technologies de l'information pourraient voir leur essor freiné brutalement par l'absence de visibilité dans les règles du jeu.

A contrario, une brevetabilité admise implicitement, sans « limites », dans le domaine des neurosciences, par exemple, pourrait bloquer le développement d'applications de technologies médicales à forte utilité sociale, en cas de restriction volontaire d'usage et de prix tel qu'une fracture économique se produirait.

Pratiquement, des sociétés spécialisées dans la gestion de portefeuilles de brevet se mettent en place pour le passage à la commercialisation, en Suisse notamment. Une spécificité des structures incluant des nanofabrications est qu'elles empilent des blocs de propriété intellectuelle sur un même support physique. Par conséquent, une compétence particulière dans la gestion juridique de cet empilement de propriété intellectuelle est nécessaire pour prévenir les contentieux. De même, des espaces *génériques* suffisants devraient être laissés à

la disposition de tous ceux qui le souhaitent, sauf à bloquer des pans entiers d'innovation, appauvrissant ainsi la collectivité.

D'une manière générale, un espace de dialogue⁵⁴ devrait être créé pour permettre aux scientifiques d'exprimer précisément les possibilités nouvelles ou « à portée de main » dans un futur proche, y compris lorsqu'elles requièrent des tests *in vivo* dans le cadre de la convergence, de façon à permettre aux industriels, aux économistes, aux juristes, aux éthiciens, aux parlementaires et aux autorités publiques de mieux comprendre ce dont il s'agit avant d'exprimer qui une opinion, qui une recommandation, qui une norme, qui un cadre réglementaire ou un code de bonnes pratiques.

En conclusion de cette deuxième partie, nous citerons le signal fort donné par MEDEA+, pour l'amplifier à la mesure de la portée de la méta-convergence industrielle : partant du constat que la réussite européenne de la filière microélectronique se mesure au *leadership* acquis dans les domaines des services GSM, et des services offerts par les cartes à puces pour les transactions financières et la sécurité, MEDEA+ estime que pour le maintien du *leadership*, la puissante base industrielle européenne construite doit évoluer de la micro à la nanoélectronique. Mais, bien que les résultats aient été impressionnants, l'avenir de l'industrie (nano)électronique en Europe est loin d'être garanti⁵⁵, ce qui ouvre la question de la responsabilité des acteurs publics et privés pour la création d'un contexte favorable.

PARTIE 3 : PROSPECTIVE ET SUBSIDIARITE DES NANOTECHNOLOGIES DANS LA META- CONVERGENCE : QUELLE POLITIQUE PUBLIQUE ?

En ces temps d'ouverture généralisée aux partenariats public-privé, il est nécessaire de penser le principe de subsidiarité dans les responsabilités publiques en amont de la définition de la politique publique.

Du développement économique régional, où les préoccupations légitimes d'efficacité et d'aménagement du territoire sont toujours à la recherche du meilleur équilibre, aux acteurs globaux gouvernementaux, industriels ou simplement représentants de groupes d'intérêt spécifique au nom d'une citoyenneté bien comprise, les nanotechnologies et leur insertion dans les technologies à capacité transformationnelle méritent une approche exhaustive, sur la base du concept de subsidiarité.

Nous avons retenu pour cette partie une approche allant du local au global, en intégrant les éléments d'actualité disponibles au 1^{er} novembre 2004. Seront donc abordés successivement les niveaux local et régional, puis européen, et enfin le dialogue international émergent, à la recherche d'un optimum entre coopération et concurrence.

Le développement se conclut par une série de recommandations opérationnelles qui se veulent en harmonie avec les leviers de politique publique disponibles en France pour l'intelligence industrielle institutionnelle.

1 La question de la responsabilité publique

Etre responsable peut être défini comme le fait d'accepter et de subir les éventuelles conséquences négatives de ses propres actions. A l'opposé de la responsabilité, le « jeu » des « acteurs » pourrait être considéré comme une activité « sans gravité », qui ne porte pas à conséquence, qui ne nuit à quiconque, directement ou indirectement. Dans le cas des nanotechnologies, les propriétés des « briques de base » sont encore largement inconnues *ab initio, a fortiori* dans leurs combinaisons entre elles et dans leur dissémination tout au long de leur cycle de vie. Aussi bien, la prise en compte publique du facteur « risque » est absolument

nécessaire, dans un contexte marqué par une demande explicite de moratoire sur le fondement d'un argumentaire inspiré de celui des opposants aux OGM.

Les enjeux sociétaux et industriels sont beaucoup trop importants pour que cette question soit traitée « à chaud », avec les seules ressources de ce qu'on nomme la "communication", dans un contexte plus ou moins panique de sortie de crise. Il est nécessaire de ne pas en arriver là. Et c'est aujourd'hui, encore, possible.

La démarche proposée dans ce rapport est originale dans la mesure où elle propose de *fonder* le consensus social autour de l'appui public aux nanotechnologies sur une réflexion éthique inclusive suffisamment en amont de la montée en puissance des marchés. Elle conduit à réfléchir à la place des acteurs dans le processus, sachant que très vite, la dimension éthique fera intervenir toute une batterie d'outils d'observation, d'intervention et de communication.

La responsabilité publique est engagée dans l'élaboration et le maintien du consensus social, mais aussi dans la protection des populations et personnes en situation de travail contre les risques scientifiques et industriels. L'expérience montre que s'agissant des risques majeurs, (rayonnements ionisants, amiante dont la couverture du risque maladie s'élèvera à 1 milliard d'euros en 2005), c'est l'Etat qui répond *en dernier ressort*. Il a donc intérêt au premier chef à ce que les limites, et par conséquent les responsabilités, soient le plus précisément et le plus justement réparties au fur et à mesure que les propriétés des nanoparticules ou nanostructures seront identifiées, caractérisées et modélisées pour leur usage industriel.

Nous aborderons successivement les limites de l'observation aux plans national et régional, les choix envisageables dans le domaine du cadre réglementaire, et enfin l'application du principe de rendre-compte (*accountability*) dans l'action publique relative aux nanotechnologies.

a. Observer pour gérer et comprendre aux plans national et régional

La fin de la mise en place du programme des cinq grandes centrales technologiques spécialisées dans les nanotechnologies sera relayée, selon des modalités en cours de définition, par les pôles régionaux de compétitivité décidés par le CIADT de septembre 2004, sans que l'on soit en mesure à ce jour de déterminer si les logiques de territoire et

d'excellence s'opposent ou se combinent. Il serait souhaitable que le critère de taille critique pour des partenariats européens voire mondiaux soit considéré comme le facteur déterminant dans cette dialectique.

A ce jour les centrales technologiques en question ont bénéficié d'un financement de 140 M€ en trois ans, dont 100 du ministère de la recherche et 40 du CNRS et du CEA. Elles sont implantées à :

- Lille : IEMN – Université de Lille (micro et nano optoélectronique rapide, micro systèmes).
- Besançon : FEMTO ST (microsystèmes et microélectronique).
- Paris-sud : IEF / LPN (nanophotonique, nanoélectronique et nanophysique).
- Toulouse : LAAS (électronique de puissance, nano et microsystèmes).
- Grenoble : pôle Minatec pour les nanosciences, micro et nanotechnologies : 4 000 personnes à terme, dont 2 000 chercheurs et enseignants chercheurs, 1 000 étudiants, 1 000 emplois dans les entreprises partenaires de R&D ; insertion dans un bassin industriel de 16 600 emplois dont 3500 dans la recherche ; présence de 30 sociétés internationales et de 30 jeunes entreprises à fort potentiel. CEA, INP Grenoble et Université Joseph Fourier sont associés au CNRS sur le site.

Un projet de Fondation supportant le futur cancéropole de Toulouse pourrait comprendre une plate-forme bio-nanotechnologique, ainsi qu'annoncé par le Premier ministre en avril 2004.

L'Agence nationale pour la recherche devrait renforcer les moyens publics d'action en faveur des nanotechnologies, et en particulier la mise en relation des grandes centrales technologiques avec des partenaires européens et internationaux, qui n'a pas pu être développée faute de ressources budgétaires. Il est important qu'à l'occasion de la création de ce GIP, aucune discontinuité budgétaire ne soit imposée au RMNT, dont le champ d'application recouvre la méta-convergence.⁵⁶

Un facteur de conflit entre les gestionnaires de ces plates-formes bénéficiant de ressources publiques résulte du succès de la formule : des PME et jeunes entreprises perçoivent comme un rationnement subi les créneaux d'accès par rapport au temps dont elles auraient besoin. Les décideurs responsables des plates-formes estiment qu'ils doivent se réserver 70% du temps

d'utilisation des plates-formes et que 50% du temps pour d'autres intervenants serait un plafond au-delà duquel ils renonceraient.

Un outil d'observation a été créé en France, sur l'initiative du CEA/Léti et du CNRS.

L'Observatoire des micros et nanotechnologies (OMNT) a pour objet de détecter les signaux faibles annonciateurs de ruptures technologiques. Cet outil est un exemple de partenariat public-privé réussi, dans la limite des objectifs précis qu'il s'est fixé à l'origine. Le succès des journées annuelles de l'OMNT manifeste l'intérêt croissant des industriels, scientifiques et autres acteurs du capital-risque pour un exposé de l'état de l'art scientifique, et son progrès d'une année sur l'autre. Structure légère, réseau de 150 experts scientifiques et techniques, elle a démontré son efficacité. En 2003, le CNES, la DGA et la Direction des Applications militaires du Ministère de la Défense ont rejoint le groupe des abonnés de ce réseau.⁵⁷.

L'OMNT a prévu de développer à court terme sa veille dans quatre directions : les microsources d'énergie, les biotechnologies, l'électronique moléculaire et les nanotechnologies. Une dimension reste inexplorée du point de vue du décideur public, c'est celle de l'observation sociétale et des sciences humaines et sociales appliquées aux technologies émergentes.

Un autre outil d'observation en amont de l'orientation des politiques publiques est l'association des industriels de la microélectronique et des microtechnologies en France (JEMI), dont les compétences seraient utilement affinées et complétées par une connaissance des activités industrielles émergentes des nanotechnologies.

L'harmonisation des outils d'observation présents dans les Etats membres de l'Union pourrait utilement être « tirée » par un programme européen spécifique, sous la forme d'un observatoire sociétal des nanotechnologies et de leur insertion dans les technologies à capacité transformationnelle, dont le tableau de bord serait défini en fonction des besoins des parties prenantes, décideurs publics et privés, en tenant compte de la subsidiarité des acteurs.

b. Choisir les espaces de laisser faire et les activités soumises à réglementation

Ce choix, s'il est naturellement contraint à un moment donné par les régulations externes européennes et internationales, n'est pas nécessairement subi si l'anticipation et la mobilisation des acteurs s'avèrent efficace. Une marge d'appréciation existe toujours dans la mise en oeuvre nationale et régionale.

Les pouvoirs publics disposent en France d'une solide réglementation et d'un dispositif de contrôle des risques industriels (par exemple les établissements classés SEVESO et l'action des DRIRE). Dans le domaine de la prévention de la toxicologie et de l'écotoxicologie par les nanoparticules synthétiques, il s'agit par conséquent plus de sensibiliser et orienter les programmes d'action que de créer de nouveaux outils. Les dotations budgétaires devraient être ajustées aux besoins émergents en matière de connaissance des risques

Il est par contre important que les pouvoirs publics acceptent et tirent les conséquences de la complexité et de l'incertitude spécifiques aux nanotechnologies⁵⁸ et au méta-risque induit par la méta-convergence : doute et modestie sont nécessaires face à ces phénomènes, où il convient d'accepter de construire une communication qui prenne acte de cette situation pour mieux s'assurer de la coopération de toutes les parties prenantes; mais aussi effort conceptuel exigeant, qui sache aller au-delà de certaines simplifications abusives propres à la notion de "précaution".

L'avenir des nanotechnologies dépend de la façon dont la société va réagir aux anticipations qui sont faites à son sujet. Ces anticipations dépendent elles-mêmes à leur tour des images et représentations diffusées, et ce, d'ores et déjà, à destination de l'âge le plus tendre (cf le modèle *suggéré* de la *fourmi obéissante*⁵⁹).

Le laisser-faire, nécessaire jusqu'à un certain point à la liberté d'entreprendre, d'innover, d'expérimenter, doit à tout moment s'accompagner, s'il souhaite contribuer à la construction d'une image suffisamment positive, optimiste et crédible des nanotechnologies, de la preuve qu'il mérite la confiance a priori accordée. Pour cela, notre mission est d'avis, reprenant les travaux d'Alexei Grinbaum et J-P. Dupuy⁶⁰, de concevoir une méthodologie radicalement nouvelle d'évaluation, dite d'évaluation normative dynamique (*ongoing normative assessment*), par laquelle chaque connaissance nouvelle des propriétés découvertes à l'échelon

nanométrique permet d'adapter sans délai l'évaluation et d'orienter l'action publique. Ce point est à la fois original et capital : original car il n'est enfermé dans aucun scénario, il prend en compte à chaque étape les réalités scientifiques et industrielles, et il amorce une boucle systémique vertueuse au service du plus grand nombre; capital parce qu'il contient probablement la clé de la confiance raisonnée sur la longue période.

La fabrication moléculaire, l'utilisation de clusters d'atomes, sont désormais possibles et le débat entre Eric Drexler et Richard Smalley (prix Nobel de chimie, découvreur des fullerènes) est désormais, d'une certaine manière, derrière nous. Face aux risques potentiels, la responsabilité publique consiste ici à s'assurer que la ligne de partage entre le laisser-faire et la réglementation est fixée de façon éclairée et modifiable dans le temps. A court terme, ce sont les réglementations existantes ou en cours d'adoption qui devraient s'appliquer, au rang desquelles les traités internationaux signés par la France (Protocole de Carthagène) pour la bio-nanotechnologie, et la future réglementation communautaire REACH, sous réserve de leur adaptation aux éléments nanométriques ou nanostructurés.

c. Appliquer le principe de rendre-compte

S'agissant d'argent public, le principe de rendre-compte des activités soutenues par le contribuable est de droit au premier euro, comme le rappelle la devise de la Cour des Comptes. Au-delà de l'aspect budgétaire, qui a son importance, le principe de rendre-compte s'applique différemment dans l'ordre civil et dans l'ordre militaire. Certaines actions publiques peuvent, du fait de la reconnaissance d'un intérêt mutuel, se concevoir en partenariat entre les sphères civile et militaire.

Toutefois l'identification des responsabilités, du degré de transparence et des modalités d'information des pouvoirs législatif, exécutif et judiciaire soulève de tels problèmes qu'elle tend à décourager ces partenariats (exemple des tests cliniques à réaliser par des services de santé public et/ ou militaire), sauf à trouver des formules contractuelles ad hoc (cas de l'Institut des Nanotechnologies pour le Soldat au MIT, qui développe son programme avec des hôpitaux civils).

Le principe de rendre-compte a aussi son utilité dans la sphère industrielle et commerciale, ne serait-ce que pour éviter tout phénomène de défiance des consommateurs, dont la

manifestation ultime est l'appel au *boycott*. Les chartes professionnelles de meilleures pratiques et autres codes de déontologie constituent des démarches intéressantes, mobilisatrices qui intéressent tous les acteurs. Elles tendent à prouver que les acteurs de l'offre font leurs meilleurs efforts, dans le cadre concurrentiel, pour concilier leurs intérêts avec ceux des préférences collectives (prévention santé et développement durable en particulier).

Elles ont pour effet d'augmenter la quantité de connaissances accessibles au public, sans pour autant que la qualité en soit mesurable. Elles s'écartent de la précision scientifique en ce sens qu'elles représentent des outils de communication. Il revient aux tribunaux de juger, le cas échéant, de la véracité de la communication et de prononcer le montant des dommages. Sonia Miller, présidente de la Converging technologies Bar Association, avocate au barreau de New-York, a publié ceci: « *As products incorporate more complex and multidisciplinary technologies integrated at the nanoscale, greater precautions **and proactive measures must be incorporated before nanomaterials enter the market place and appear before the court*** ».⁶¹

Prenant acte de la recommandation de la Commission européenne d'aller vers un code de conduite en matière de développement responsable des nanotechnologies, nous considérons néanmoins que, pour utile et désirable qu'il soit, il ne constitue que l'un seulement des vecteurs du « rendre-compte », et il ne suffit pas, à lui seul, à clarifier et à répartir les responsabilités. Il devra donc, le moment venu, être accompagné d'actes réglementaires précis garantissant la rigueur, l'efficacité et les modalités de contrôle.

Observer, orienter, décider, agir, évaluer sont les éléments séquentiels d'une même chaîne opérationnelle. Dans un contexte mondialisé de la recherche, de la production et des échanges, il est indispensable de penser ces séquences globalement et, si possible, de les influencer conformément aux préférences collectives démocratiquement exprimées. Notre territoire intérieur pertinent est dorénavant celui de l'Union européenne à vingt-cinq Etats membres.

2 Inspirer la position de l'Union européenne au regard des régulations communautaires

La politique de la concurrence et la politique commerciale commune étant appelées à demeurer des moyens propres de la Commission européenne, avec ou sans traité constitutionnel, il convient de s'interroger sur les leviers d'action dont nous disposons depuis la France auprès des institutions communautaires (Conseil, Parlement européen et Commission pour l'essentiel). Mais pour être en situation d'inspirer la position de l'Union européenne, il est souhaitable de parler d'une seule voix, reflétant si possible le consensus national.

a) Quelques pré requis pour une position française claire auprès des institutions de l'UE

Nous avons vu que jusqu'à présent, la position française a été mise en forme par le chef de file naturel s'agissant de domaines scientifiques, à savoir le ministère de la recherche.

Cette situation, efficace dans le cadre de la préparation du 5^{ème} et 6^{ème} PCRD, pourrait l'être moins à compter de 2005 et ce pour deux raisons : la première tient à la multiplication des interlocuteurs sur les nanotechnologies au sein de la commission, la DG Recherche n'étant plus la seule, compte tenu de la méta-convergence, à se saisir de ce sujet ; la seconde raison est que les laboratoires ne sont plus seuls concernés, de nombreuses industries de biens et services, le secteur des assurances et du capital risque, le commerce international et de nombreux domaines de l'action publique (justice, industrie, transport, défense, écologie et développement durable, éducation, douanes, en particulier) le sont aussi.

Une **coordination interministérielle continue**, située auprès du Premier ministre, capable de porter le développement des nanotechnologies en tant que filière économique d'entraînement émergente et de s'assurer de la qualité de l'interaction avec toutes les parties prenantes est indispensable dès à présent. Cette fonction, qui reste à créer, devrait pouvoir s'appuyer sur une **entité de synthèse opérationnelle**, répondant de la mise en œuvre effective de la politique publique en matière de nanotechnologie, recommandation esquissée dans le rapport de l'Académie des sciences et de l'Académie des technologies.

b) Mettre en cohérence la politique publique des nanotechnologies avec les autres grands domaines de l'action publique dans l'Union européenne

De la prospective à long terme à l'évaluation, il existe de multiples voies d'interaction et d'influence de l'action communautaire. Un ensemble de propositions plus concrètes pourraient être formulées en ce domaine par la fonction de synthèse opérationnelle que nous avons identifiée *supra*.

Parmi les voies importantes et prévisibles favorisant l'insertion des nanotechnologies dans les dynamiques existantes, pour lesquelles une attitude française claire est souhaitable, nous pouvons citer :

- la participation à l'orientation de la méthode et des sujets de prospective horizontaux ou ciblés et l'impact sur le programme de travail du JRC et de l'IPTS ; cette action est capitale dans la construction d'une vision commune, et par conséquent d'anticipations suffisamment positives pour affirmer la volonté, voire la priorité d'action, même si les résultats ne sont engrangés que sur la longue période ;

- la participation à l'élaboration du 7^{ème} PCRD dans **tous** les domaines concernés par les nanotechnologies, au premier rang desquels les technologies de l'information et de la communication (et pas seulement à la spécification du programme nanosciences de la DG Recherche), l'évaluation des résultats du 6^{ème} PCRD dans une perspective de *feedback*. Un effort particulier devrait être demandé dans le domaine de la convergence technologique car c'est un point focal de la compétitivité de demain, tout en accompagnant la définition des critères d'évaluation des projets dans leur dimension éthique ;

- la participation aux groupes de travail de haut niveau de la Commission européenne dans le domaine des quatre technologies convergentes (bio, info, nano, cogno) et la proposition de créer de tels groupes lorsqu'ils n'existent pas, en ayant comme fil conducteur pour l'avenir la méta-convergence ;

- la participation aux séminaires spécialisés de prospective à 10 ans dans tous les secteurs susceptibles d'inclure les nanomatériaux dans leurs procédés de fabrication ou dans leurs produits ;
- le soutien actif à la politique communautaire de la DG SANCO pour la création d'un réseau d'entités chargées des études de toxicologie et d'écotoxicologie ;
- la promotion de la problématique de l'éthique des nanotechnologies auprès du STOA (Parlement européen) ;
- la promotion des instruments financiers européens en faveur des jeunes entreprises et des PME dans ce domaine ;

En dernier lieu, il convient de s'intéresser aux programmes de coopération internationale de l'Union européenne, en particulier avec les Etats-Unis et la Chine, dans le domaine des nanotechnologies. Une participation proactive française à l'enrichissement du dialogue international responsable dans le domaine des nanotechnologies a été construite au cours de premier semestre 2004. Il est indispensable de ne pas laisser cette opportunité sans lendemain.

3 Prendre sa place dans le dialogue international responsable

L'initiative pour un dialogue international responsable est venue du coordonnateur de la NNI américaine, M. M.C. Roco⁶². Elle trouve son fondement dans l'impératif de rendre compte au législateur américain du respect du principe de prudence dans les financements publics fédéraux des nanosciences et nanotechnologies. L'intuition de M. Roco, telle qu'exprimée succinctement lors de l'Euronanoforum de décembre 2003 à Trieste, était qu'il convenait de mettre les pays intéressés au travail pour trouver un code de conduite commun permettant de construire la confiance nécessaire à la mobilisation des investissements (publics et privés), tout en évitant de poser des actes contraignants. Cette initiative a permis le lancement du «processus d'Alexandria ».

a. Nature et devenir du dialogue international responsable

Une première réunion informelle s'est tenue à Alexandria (VA) les 17 et 18 juin 2004, à l'invitation de la NSF. La participation à cette réunion qui avait pour objet l'expression d'un intérêt pour un dialogue international sur des nanotechnologies « responsables », a été forte (25 pays plus la Commission européenne-DG Recherche), et variée tant en terme de répartition géographique que de niveau de développement (Etats-Unis, Japon, Canada, Mexique, Brésil, Argentine, Inde, France, Allemagne, Royaume-Uni, Pays-Bas, Autriche, Belgique, République Tchèque, Roumanie, Suisse, Israël, Russie, Corée du Sud, Taiwan Australie, Nouvelle-Zélande et Afrique du Sud).

Elle a permis une meilleure prise de conscience des bénéfices et des inquiétudes engendrés par l'émergence des nanotechnologies dans la société civile. Lors de la séance conclusive, il a été clairement établi un accord des participants pour reconnaître un besoin de la communauté internationale de mettre en place de façon urgente un dialogue dynamique, une coopération et une coordination dans le domaine des nanosciences et nanotechnologies. Il a été décidé de s'accorder sur les termes de référence qui pourraient être confiés à un *groupe préparatoire*, lui-même informel, qui serait chargé de poser les bases d'un dialogue international et d'une coopération.

Il est clair que la nature de ce groupe n'est pas encore arrêtée. Plusieurs options sont ouvertes à ce stade pour assurer le portage de cette dynamique : association scientifique *sui generis* ou adossée à une entité existante telle que l'ICSU, forum au sein de l'OCDE (mais cela ne concerne pas tous les pays), *Task Force* des Nations-Unies,... les options sont ouvertes, aucun traité ne prévoyant de lieu d'accueil diplomatique « naturel » en ce domaine émergent.

Le groupe ETC, organisation non gouvernementale promouvant la biodiversité et les droits de l'homme, a accueilli favorablement le lancement du processus d'Alexandria, en le qualifiant de première étape importante⁶³ dans la reconnaissance par les gouvernements des impacts globaux des nanotechnologies. Il se prononce en faveur d'un mécanisme sous l'égide des Nations-Unies.

Le représentant de l'OCDE à Alexandria, M Stefan Michalowski (executive secretary , Global Science Forum) , estime qu'un précédent intéressant existe dans l'IPCC (Intergovernmental

Panel on Climate Change), qui a été créé par l'Organisation mondiale météorologique et le Programme des Nations-Unies pour l'environnement.

Selon les conclusions de la réunion d'Alexandria, ce groupe devra explorer les différentes possibilités de structuration du dialogue par l'action, les mécanismes, le calendrier, les cadres institutionnels les plus appropriés et les principes de ce dialogue et de cette coopération, qui puissent être acceptés par tous les pays et tous les continents. Il devra préparer un projet de plan d'action pour un dialogue continu et une coopération, et une déclaration conjointe accompagnée d'une procédure pour leur adoption. Il est également prévu que d'autres pays intéressés peuvent se joindre aux 25 pays participants.

La position soutenue par les représentants d'Etats membres de l'Union européenne (France et Allemagne en particulier) selon laquelle ce dialogue devait à l'avenir être le plus inclusif possible, en particulier en ce qui concerne la Chine, a été constamment soutenue par les représentants de la Commission européenne. Cette position a été confirmée par les conclusions du Conseil Compétitivité du 24 septembre 2004.

b) La nécessaire caractérisation du dialogue international responsable et les suites du processus.

Il a été rendu compte en détail de cette réunion par correspondance diplomatique du 23 juin 2004. Les représentants pour la France ont organisé à Paris une réunion d'information interministérielle⁶⁴ le 29 juin 2004, à laquelle des représentants du CEA, du SGDN et du ministère de l'écologie et du développement durable, notamment, ont participé. Une large diffusion du dossier a été assurée au CGM, au CGTI, au Cabinet du Premier ministre, au SGCI, au ministère des Affaires étrangères, au ministère de la recherche (cabinet et services) au ministère de l'industrie (cabinet et DiGITIP), au service d'intelligence économique du HFD/ /MiNEFI et au service scientifique de l'Ambassade de France à Washington.

Les prolongements les plus probables sont à court terme la mise en place d'une structure de pilotage informelle d'un premier groupe d'application (*Task force*), dont M. Roco suggère qu'il aille de l'avant sans attendre la formation du « groupe préparatoire », qui tarde à se concrétiser.

Ce premier groupe d'application est provisoirement nommé « *International Working group on Databases, Norms and methodologies for risk assessment in Nanotechnology* ». Ses co animateurs pressentis sont une Américaine, (Environment Protection Agency), un Japonais (Council for Science and Technology Policy), une Française (membre du CGTI) et un Formosan (Advisor, Ministry of Education for Nanotechnology).

La feuille de route de ce groupe est esquissée en quatre points : la promotion des échanges d'information, l'harmonisation des différentes tendances, l'organisation d'une rencontre annuelle et l'identification des priorités pour la coopération.

Il reste à définir rapidement les modalités de mise en œuvre pour la France, sachant que l'intérêt de poursuivre a été clairement exprimé par la France en ces termes: « Le dialogues'est instauré (cf la conférence d'Alexandria). Il s'agit d'étendre et de poursuivre le dialogue avec tous les pays impliqués par le processus de développement des nanotechnologies (en particulier avec la Chine, absente notable à cette conférence » (SGCI 23 septembre 2004). S'agissant d'un dialogue entre pays, et par conséquent de responsabilité et de politiques publiques, un appui du processus par la diplomatie française est souhaitable.

CONCLUSION

Au terme de ce rapport, nous souhaitons souligner l'originalité de l'angle d'approche que nous avons choisi. Il constitue un double avantage comparatif pour l'orientation stratégique de l'action publique en faveur du développement des nanotechnologies et de leur convergence industrielle avec les biotechnologies, les technologies de l'information et les sciences cognitives, en ce qu'il propose:

- de fonder sur l'éthique un consensus social raisonnable et durable, en France, autour des nanotechnologies ;
- d'orienter le dialogue international responsable par une contribution active à la définition d'outils d'évaluation normative dynamique réellement adaptés à la réalité qui s'affirme d'une méta-convergence industrielle.

Pour cela, un renforcement et une mise sous tension du dispositif public d'orientation et de mise en œuvre opérationnelle devra être effectué à très court terme, centré sur les nanotechnologies. Un relais et un appui devront être activement recherchés dans l'action de l'Union européenne, en particulier dans le financement d'un observatoire sociétal des nanotechnologies, en réseau avec des capacités d'observation renforcées dans chaque Etat membre.

Les recommandations de la mission, la plupart introduites dans le rapport, sont résumées ci-après.

13 RECOMMANDATIONS POUR L'ACTION

- **Rec. 1** : Concevoir et mettre en œuvre à très court terme une fonction de **coordination interministérielle continue**, capable de porter le développement de la convergence des technologies à forte capacité transformationnelle, en commençant par les nanotechnologies.
 - **Rec. 2** : Soutenir l'effort de **normalisation** de l'AFNOR dans le cadre du WG 166 du Centre européen de normalisation, y compris dans l'exigence d'un secrétariat commun UE/US à l'OSI, en incitant l'industrie à y participer.
 - **Rec. 3** : Créer un **réseau technologique** de la méta-convergence nano-bio- info-cogno, en complément des réseaux RMNT, RNTL, RNRT, RIAM et RNTS, susceptible de favoriser, notamment, les propositions françaises aux appels d'offres du 7ème PCRD.
-
- **Rec. 4** : Appuyer la recommandation du Groupe d'experts de haut niveau de la Commission européenne sur la prospective de la nouvelle vague technologique (NTW) visant à créer un **observatoire sociétal européen** des technologies convergentes.
 - **Rec. 5** : Promouvoir l'**observation des nanotechnologies en France**, dans toutes ses dimensions scientifiques, technologiques et sociétales, en apportant un soutien public à l'adaptation et à l'institutionnalisation de la fonction remplie par l'OMNT, et bâtir sur ses résultats un dialogue constructif entre toutes les parties prenantes.
 - **Rec. 6** : Mobiliser les ressources humaines et budgétaires nécessaires à l'**élaboration de critères d'évaluation normative dynamique** (*ongoing normative assessment*)

pour la communauté nationale et internationale, à leur présentation et à la mise en œuvre de la méthodologie correspondante (*critères pertinents pour revues de pairs*).

- **Rec. 7** : Ouvrir un programme de recherche sur **les nouvelles régulations et la subsidiarité en matière de technologies convergentes**, y inclus celles du commerce international et les problématiques douanières.
- **Rec. 8** : Sensibiliser les jeunes à l'intérêt d'une **formation** multidisciplinaire et améliorer l'image des nanotechnologies et technologies émergentes dans les cursus secondaires généraux en actualisant rapidement la formation et les supports éducatifs des enseignants de technologie dans l'enseignement secondaire.
- **Rec. 9** : Mobiliser l'INRS, l'INERIS, l'INVS, les acteurs de la santé et de la protection du consommateur en faveur de la **prévention des risques** physiques et sociétaux, en commençant par les classifications de produits et les banques de données.

- **Rec. 10** : Inscrire dans les **missions des DRIRE** la surveillance territoriale des installations de toute nature traitant de nanoparticules et nanomatériaux et veiller à une interaction avec les autorités réglementaires nationales et européennes.
- **Rec. 11** : S'assurer que le **Conseil consultatif national d'éthique** pour les sciences de la vie (CCNE) dispose des moyens nécessaires pour remplir sa mission au regard des nanotechnologies et de la méta-convergence, et pour participer aux échanges internationaux sur ces aspects cruciaux, en liaison avec le conseil national d'éthique du CNRS notamment.

Rec. 12 : Encourager les grands organismes de recherche, à commencer par le CNRS et l'INSERM, à édifier des **plates-formes de recherche sur les implications éthiques et sociales des nanotechnologies**, considérées sous l'angle de la méta-convergence.

- **Rec. 13** : Identifier une **entité de synthèse opérationnelle** répondant de la mise en œuvre de la politique publique en matière de nanotechnologies, dans le prolongement de la proposition esquissée dans le rapport de l'Académie des Sciences et de l'Académie des technologies.

Paris, le 8 novembre 2004

Jean-Pierre DUPUY

Ingénieur général des Mines

Françoise ROURE

Inspecteur général des Postes
et Télécommunications

NOTES DE FIN DE RAPPORT

¹ Rapport rst n°18 – avril 2004, « Nanosciences Nanotechnologies », Editions Tec & Doc, p.11

¹ « Les nano-matériaux, au cœur de la galaxie nano ». Gilles Le MAROIS, Réalités Industrielles, N° de février 2004, Les Annales des Mines, p. 64.

¹ « Grains quantiques pour diodes électroluminescentes »,

¹ JOACHIM Christian “Nanoelectronics, the Bottom-Up Nano-Calculator”, CNRS, in Emerging Technologies. Empowering People in the Information Society ». Issue 21, September 2004.

¹ DUPUY Jean-Pierre « Impact du développement futur des nanotechnologies sur l'économie, la société, la culture et la paix économique mondiale ». Document de travail section « Innovation et entreprise ».

¹ Expression de Thierry GAUDIN, Entretiens de la section commune CGM-CGTI avec la Commission européenne/ DG RDT/Unité K Prospective, 9 février 2004.

¹ « Vers une stratégie européenne en faveur des nanotechnologies ». Communication de la Commission COM (2004) 338 final, p.3.

¹ Les indications suivantes sont issues de sources citées in ROURE F. « Economie internationale des nanotechnologies et initiatives publiques ». . Revue Réalités industrielles, février 2004, pp. 5 à 11.

¹ « Les nanomatériaux », Gilles Le MAROIS, DIGITIP/ MINEFI, 12 juillet 2004

¹ <http://www.nanomateriaux.org>

¹ séminaire organisé par la DiGITIP / MINEFI le 22 octobre 2004, avec l'appui du BMBF allemand et du BIT autrichien.

¹ Note SGCI du 23 septembre 2004 pour le point 12 du Conseil compétitivité du 24 septembre 2004, fixant les éléments de langage de la France.

¹ 2nd Shanghai international nanotechnology cooperation Symposium, Asia Pacific Nanotechnology annual conference <http://www.anpf.org>

¹ In Etude Yole Développement pour la DiGITIP, « Nanotechnologies, environnement international », septembre 2003.

¹ HAGEGE S. ROURE F. Contribution to the National Science Foundation international dialogue on nanotechnologies », Alexandria (VA), juin 2004

¹ cf. Annexe Tableaux et graphiques n°1

¹ Discours de M. François d'AUBERT, 12 octobre 2004 in <http://www.recherche.gouv.fr/budget/2005/priorite2.pdf>

¹ Solution préconisée par le Conseil stratégique des technologies de l'information/CSTI in <http://www.csti.pm.gouv.fr>

¹ Cf. société Fogale Nanotech en particulier, <http://www.fogale.com>

¹ Jeol News, in <http://www.jeoleuro.com>

¹ Voir TRG 4 (tableaux et représentations graphiques du présent rapport)

¹ cf Tableaux et représentations graphiques n° 5

²⁴ Une étude synthétique très fouillée de ces questions est due à Mark Avrum Gubrud. Sous le titre « Nanotechnology and International Security », elle a été publiée en 1997 par le Foresight Institute. Elle est disponible à <http://www.foresight.org/Conferences/MNT05/Papers/Gubrud/index.html>

¹ *See-through Science*, James Wilsdon et Rebecca Willis, avec une préface de Barbara Young, Directrice de l'Agence britannique de l'environnement, Demos, Londres, 2004.

¹ « Small size – large impact? » Invitation to Conference on nanotechnology, Swiss Re

¹ FITERMAN C., Conseil économique et social, 11 mai 2003.

¹ En référence aux « scénarios catastrophiques de Sir Martin Rees, le Pari à 1 million de morts », in *Le Monde* 2, 2 octobre 2004. Voir son livre *Our Final Hour. A Scientist's Warning: How Terror, Error, and Environmental Disaster Threaten Humankind's Future in this Century – on Earth and Beyond*, Basic Books, New York, 2003.

¹ « Mapping out nano risks » Groupe de travail ad hoc de la Commission européenne DG SANCO 1-2 mars 2004

¹ Cf. le roman de Michael Crichton *Prey*.

¹ DREXLER Eric, PHOENIX Chris. « Safe exponential manufacturing » *Institute of Physics Publishing Nanotechnology* 15 (2004) 869-872.

¹ Sir Martin REES, *Our Final Hour*, op. cit.

¹ Voir cependant les documents d'accompagnement en annexe.

¹ Report of the international dialogue on responsible research and development technology. August 2004, The Meridian Institute/ NSF, 52 p. in <http://www.nanodialogues.org/international>

¹ <http://www.bmbwk.gv.at> « Austrian comments on the questions for the public debate on nanotechnologies ».

¹ ROURE F. *Ethique et nanotechnologies* », Présentation au Réseau Micro-Nanotechnologies (comité d'orientation). Juin 2004-09-30

¹ Note DiGITIP du 5 mai 2004, Activité ATOFINA dans le domaine des nano-matériaux, 2p.

¹ « La convergence des nanotechnologies, des biotechnologies, des technologies de l'information et des sciences cognitives, pour une augmentation des performances humaines ». Françoise Roure. Compte-rendu du colloque NBIC., New York février 2004

¹ Cf. Center for cognitive liberty and ethics. ETATS-UNIS

¹ <http://www.nanoroadmap.it/project/project.htm>

¹ Official Japanese contribution to the NSF and Meridian Institute questionnaire about International dialogue on responsible R&D of nanotechnology. 4th Paris 2004.

¹ DUPUY Jean-Pierre “ Do we shape technologies or do they shape us? Proceedings of the Conference “ Converging technologies for a diverse Europe”, September 2004, European Commission, Brussels

¹ FERT Alain, unité mixte de physique CNRS / Thalès et Université de Paris-Sud Orsay, in 5èmes journées du RMNT, 13 octobre 2004S

¹ Id. LOURTIOZ Jean-Michel, Institut d'électronique fondamentale, CNRS Université Paris-Sud Orsay.

¹ ANDLER Daniel, professeur de philosophie, Université de Paris Sorbonne, 19 septembre 2003. “ What does C stand for in the NBIC acronym”. Working paper, 2p.

¹ ROURE F.HLEG Foresighting the new technology wave. “Economic and social effects of converging transformational technologies (CTTs)”, report on Madrid meeting, 21 may 2004. F. Roure

¹ ROURE F.» The main economic focus of converging transformational technologies (CTTs) ». . High Level expert group Foresighting the New Technology Wave, European Commission / DG RDT, unit K Foresight. Special interest group meeting 21 May 2004, Madrid.

¹ Cf DUPUY Jean-Pierre“ Do we shape technologies or do they shape us? , loc. cit.

¹ BOILEAU Jacques : “Les aspects duaux des nanotechnologies. Peut-on envisager une initiative nanotechnologique nationale (INN) ? ». In Réalités industrielles février 2004, p. 76

¹ BAINBRIDGE W.S, id, p. XXXV.

¹ Selon M. Pascal GAUTIER, responsable du projet AFNOR pour les nanotechnologies.

¹ Cf. Tableaux et représentations graphiques

¹ Souhait formulé par l'American Association for the advancement of science, Rapport “ Neuroscience and the Law: brain, mind and the scale of justice”, sept. 2004, Dana Press, summary report, 29 p.

¹ Arthur Van der Poel, MEDEA+ Chairman of the board, 19 octobre 2004.

¹ Cf. tableaux et représentations graphiques

¹ Rapport d'activité 2003 du CEA- Léti, p. 45

¹ « Complexity and uncertainty, a prudential approach to nanotechnology », Jean-Pierre Dupuy, Proceedings of the meeting « Mapping out nano risks », march 2004, DG Health and Consumer protection. European Commission, 32 p.

¹ « Bienvenue dans le nanomonde », OKAPI nov. 2003 p.10 in Tableaux et représentations graphiques

¹ Jean-Pierre Dupuy et Alexei Grinbaum, “Living With Uncertainty: Toward a Normative Assessment of Nanotechnology”, *Hyle/Techne*, sous presse.

¹ MILLER, Sonia: « A matter of Torts: why nanotechnology must develop processes of risk analysis », New York Law Journal vol. 232-N°. 67, 10-05-2004.

¹ Mihail Roco, *senior advisor on nanotechnology for the National Science Foundation (NSF), Chairman of the Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering and Technology (NSET) of the U.S. National Science and Technology Council.*

¹ « 26 governments tiptoe toward global nano governance: grey goovernance?» June 30, 2004-10-22

¹ cf. annexe Sommaire du dossier pour la réunion d'information interministérielle du 29 juin 2004

NOTES DE FIN DE RAPPORT

- ¹ Rapport rst n°18 – avril 2004, « Nanosciences Nanotechnologies », Editions Tec & Doc, p.11
- ² « Les nano-matériaux, au cœur de la galaxie nano ». Gilles Le MAROIS, Réalités Industrielles, N° de février 2004, Les Annales des Mines, p. 64.
- ³ « Grains quantiques pour diodes électroluminescentes ».
- ⁴ JOACHIM Christian “Nanoelectronics, the Bottom-Up Nano-Calculator”, CNRS, in Emerging Technologies. Empowering People in the Information Society. Issue 21, September 2004.
- ⁵ DUPUY Jean-Pierre « Impact du développement futur des nanotechnologies sur l'économie, la société, la culture et la paix économique mondiale ». Document de travail section « Innovation et entreprise ».
- ⁶ Expression de Thierry GAUDIN, Entretiens de la section commune CGM-CGTI avec la Commission européenne/ DG RDT/Unité K Prospective, 9 février 2004.
- ⁷ « Vers une stratégie européenne en faveur des nanotechnologies ». Communication de la Commission COM (2004) 338 final, p.3.
- ⁸ Les indications suivantes sont issues de sources citées in ROURE F. « Economie internationale des nanotechnologies et initiatives publiques ». Revue Réalités industrielles, février 2004, pp. 5 à 11.
- ⁹ « Les nanomatériaux », Gilles Le MAROIS, DIGITIP/ MINEFI, 12 juillet 2004.
- ¹⁰ <http://www.nanomateriaux.org>
- ¹¹ séminaire organisé par la DiGITIP / MINEFI le 22 octobre 2004, avec l'appui du BMBF allemand et du BIT autrichien.
- ¹² Note SGCI du 23 septembre 2004 pour le point 12 du Conseil compétitivité du 24 septembre 2004, fixant les éléments de langage de la France.
- ¹³ 2nd Shanghai international nanotechnology cooperation Symposium, Asia Pacific Nanotechnology annual conference <http://www.anpf.org>
- ¹⁴ In Etude Yole Développement pour la DiGITIP, « Nanotechnologies, environnement international », septembre 2003.
- ¹⁵ HAGEGE S. ROURE F. Contribution to the National Science Foundation international dialogue on nanotechnologies », Alexandria (VA), juin 2004.
- ¹⁶ cf. Annexe n° 4, tableaux et représentations graphiques n°1.
- ¹⁷ Discours de M. François d'AUBERT, 12 octobre 2004 in <http://www.recherche.gouv.fr/budget/2005/priorite2.pdf>

¹⁸ Solution préconisée par le Conseil stratégique des technologies de l'information/CSTI in <http://www.csti.pm.gouv.fr>

¹⁹ Cf. société Fogale Nanotech en particulier, <http://www.fogale.com>

²⁰ Jeol News, in <http://www.jeoleuro.com>

²¹ Voir Annexe 4, tableaux et représentations graphiques n°4.

²² cf Tableaux et représentations graphiques n° 5, Annexe n° 4.

²⁶ *See-through Science*, James Wilsdon et Rebecca Willis, avec une préface de Barbara Young, Directrice de l'Agence britannique de l'environnement, Demos, Londres, 2004.

²⁷ « Small size – large impact? » Invitation to Conference on nanotechnology, Swiss Re.

²⁸ FITERMAN C., Conseil économique et social, 11 mai 2003.

²⁹ En référence aux « scénarios catastrophiques de Sir Martin Rees, le Pari à 1 million de morts », in *Le Monde* 2, 2 octobre 2004. Voir son livre *Our Final Hour. A Scientist's Warning : How Terror, Error, and Environmental Disaster Threaten Humankind's Future in this Century – on Earth and Beyond*, Basic Books, New York, 2003.

³⁰ « Mapping out nano risks » Groupe de travail ad hoc de la Commission européenne DG SANCO 1-2 mars 2004. Annexe n° 4. Tableaux et représentations graphiques n°2.

³¹ Cf. le roman de Michael Crichton *Prey*.

³² DREXLER Eric, PHOENIX Chris. “Safe exponential manufacturing“ Institute of Physics Publishing Nanotechnology 15 (2004) 869-872.

³³ Sir Martin REES, *Our Final Hour*, op. cit.

³⁴ Voir cependant les documents d'accompagnement en annexe.

³⁵ Report of the international dialogue on responsible research and development technology. August 2004, The Meridian Institute/ NSF, 52 p. in <http://www.nanodialogues.org/international>

³⁶ <http://www.bmbwk.gv.at> « Austrian comments on the questions for the public debate on nanotechnologies ».

³⁷ ROURE F. *Ethique et nanotechnologies* », Présentation au Réseau Micro-Nanotechnologies (comité d'orientation). Juin 2004-09-30.

³⁸ Note DiGITIP du 5 mai 2004, Activité ATOFINA dans le domaine des nano-matériaux, 2 p.

³⁹ “La convergence des nanotechnologies, des biotechnologies, des technologies de l'information et des sciences cognitives, pour une augmentation des performances humaines”. Françoise Roure. Compte-rendu du colloque NBIC., New York février 2004.

⁴⁰ Cf. Center for cognitive liberty and ethics. Etats-Unis.

⁴¹ <http://www.nanoroadmap.it/project/project.htm>

-
- ⁴² Official Japanese contribution to the NSF and Meridian Institute questionnaire about International dialogue on responsible R&D of nanotechnology. 4th Paris 2004.
- ⁴³ DUPUY Jean-Pierre “ Do we shape technologies or do they shape us? Proceedings of the Conference “ Converging technologies for a diverse Europe”, September 2004, European Commission, Brussels.
- ⁴⁴ FERT Alain, unité mixte de physique CNRS / Thalès et Université de Paris-Sud Orsay, in 5^{èmes} journées du RMNT, 13 octobre 2004S.
- ⁴⁵ Id. LOURTIOZ Jean-Michel, Institut d'électronique fondamentale, CNRS Université Paris-Sud Orsay.
- ⁴⁶ ANDLER Daniel, professeur de philosophie, Université de Paris Sorbonne, 19 septembre 2003. “What does C stand for in the NBIC acronym”. Working paper, 2p.
- ⁴⁷ ROURE F.HLEG Foresighting the new technology wave. “Economic and social effects of converging transformational technologies (CTTs)”, report on Madrid meeting, 21 may 2004. F. Roure.
- ⁴⁸ ROURE F. « The main economic focus of converging transformational technologies (CTTs) ». High Level expert group Foresighting the New Technology Wave, European Commission / DG RDT, unit K Foresight. Special interest group meeting 21 May 2004, Madrid.
- ⁴⁹ Cf DUPUY Jean-Pierre“ Do we shape technologies or do they shape us? , loc. cit.
- ⁵⁰ BOILEAU Jacques : « Les aspects duaux des nanotechnologies. Peut-on envisager une initiative nanotechnologique nationale (INN) ? ». In Réalités industrielles février 2004, p. 76.
- ⁵¹ BAINBRIDGE W.S, id, p. XXXV.
- ⁵² Selon M. Pascal GAUTIER, responsable du projet AFNOR pour les nanotechnologies.
- ⁵³ Cf. Tableaux et représentations graphiques p. 8, annexe n°4.
- ⁵⁴ Souhait formulé par l'American Association for the advancement of science, Rapport “Neuroscience and the Law: brain, mind and the scale of justice”, sept. 2004, Dana Press, summary report, 29 p.
- ⁵⁵ Arthur Van der Poel, MEDEA+ Chairman of the board, 19 octobre 2004.
- ⁵⁶ Cf. tableaux et représentations graphiques n° 9, annexe n° 4.
- ⁵⁷ Rapport d'activité 2003 du CEA- Léli, p. 45.
- ⁵⁸ « Complexity and uncertainty, a prudential approach to nanotechnology », Jean-Pierre Dupuy, Proceedings of the meeting « Mapping out nano risks », march 2004, DG Health and Consumer protection. European Commission, 32 p.
- ⁵⁹ « Bienvenue dans le nanomonde », OKAPI nov. 2003 p.10 in Tableaux et représentations graphiques n°7, annexe n°4.
- ⁶⁰ Jean-Pierre Dupuy et Alexei Grinbaum, “Living With Uncertainty: Toward a Normative Assessment of Nanotechnology”, *Hyle/Techne*, sous presse.

⁶¹ MILLER, Sonia: « A matter of Torts: why nanotechnology must develop processes of risk analysis », New York Law Journal vol. 232-N°. 67, 10-05-2004.

⁶² Mihail Roco, *senior advisor on nanotechnology for the National Science Foundation (NSF), Chairman of the Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering and Technology (NSET) of the U.S. National Science and Technology Council.*

⁶³ « 26 governments tiptoe toward global nano governance: grey goovernance?» June 30, 2004-10-22.

⁶⁴ Cf. annexe Sommaire du dossier pour la réunion d'information interministérielle du 29 juin 2004