



## PROSPECTIVE TECHNOLOGIQUE ET PROSPECTIVE TERRITORIALE – HORIZON 2030

### FICHE VARIABLE

### LES TECHNOLOGIES "CONVERGENTES" DU XXI<sup>E</sup> SIECLE : NANOTECHNOLOGIES, BIOTECHNOLOGIES, INFORMATIQUE, SCIENCES DE LA CONNAISSANCE

Synthèse – avril 2008

*Les technologies dont il est ici question ressortent de quatre domaines :*

- *Les nanosciences et les nanotechnologies,*
- *Les biotechnologies,*
- *Les sciences cognitives,*
- *Et les croisements de ces trois grands ensembles scientifiques et technologiques avec l'informatique et les télécommunications.*

**Pour télécharger la fiche complète :**

**<http://www.la27eregion.fr/Technologies-et-prospective-territoriale>**

**Tableau récapitulatif des impacts sur les territoires, par compétences :**

**[http://www.la27eregion.fr/IMG/pdf/ProspectIC\\_impacts\\_synth.pdf](http://www.la27eregion.fr/IMG/pdf/ProspectIC_impacts_synth.pdf)**

**Ces fiches variables, produites par la Fing et le Lipsor avec le soutien de la Caisse des Dépôts et de la Diact, peuvent être librement téléchargées, utilisées (notamment dans le cadre d'exercices de prospective territoriale) et modifiées, sous réserve d'en indiquer la source : "*Fiche variable de prospective technologique produite par la Fing et le Lipsor avec le soutien de la Caisse des Dépôts et de la Diact*".**

## EN UNE PAGE...

L'informatique et les télécoms étaient sans doute les technologies déterminantes de la fin du XXe siècle. Au XXIe, les transformations majeures viendront de la conjonction des progrès très rapides des nanosciences (sciences de la matière dans l'infiniment petit), la biologie (sciences du vivant), l'informatique toujours, les sciences de la connaissance et les neurosciences – ainsi que du croisement entre ces domaines de recherche, qui a conduit les Américains à les rassembler dans l'acronyme "NBIC" (nano-bio-info-cogno).

Dans chacun de ces domaines, mais aussi à leurs intersections, on peut s'attendre à une série de révolutions scientifiques et technologiques qui toucheront progressivement tous les secteurs d'activité, tous les domaines de la vie.

A l'horizon 2030, celui de cette fiche, ces transformations n'auront pas encore produit tous leurs effets. Cependant :

- **Ces technologies ne font pas seulement partie du futur.** Les nanotechnologies ont déjà produit des matériaux utilisés dans de nombreux secteurs, du bâtiment à la cosmétique en passant par l'électronique. Les biotechnologies produisent des espèces végétales ou animales, des médicaments ou des tests médicaux nouveaux. Des croisements entre ces disciplines, tels que les biopuces, sont déjà opérationnels.
- **Elles mobilisent déjà des investissements massifs en recherche-développement** dans l'ensemble des pays développés et certains pays émergents et constituent, pour de nombreux secteurs innovants, la clé de leur compétitivité future. Sans qu'il soit vraiment possible de chiffrer ce potentiel, la *National Science Foundation* américaine évaluait par exemple le marché des produits incorporant des nanotechnologies à 1000 milliards d'euros en 2010, contre 40 milliards en 2001...
- **Des applications et des usages de plus en plus nombreux et avancés** émergeront tout au long de la période, transformant progressivement l'informatique, les télécoms et l'électronique, la médecine, les affaires militaires et la sécurité, le secteur de l'énergie, les outils de suivi environnemental ou de détection des catastrophes, peut-être l'éducation, ou la construction...
- Enfin, parce qu'elles touchent à l'intime (la matière, le corps, l'esprit) tout en ouvrant un champ des possible aussi vaste qu'inexploré, ces technologies suscitent et susciteront **des débats politiques et éthiques auxquels les territoires ne pourront pas rester étrangers**. On peut considérer que la contestation des OGM, ou celle de l'ouverture à Grenoble du pôle de compétitivité Minalogic, ne sont que des avant-goûts des débats à venir.

Les territoires sont donc concernés dans presque tous leurs domaines d'intervention, qu'il s'agisse du développement économique et de la recherche, bien sûr, mais aussi de l'environnement, la santé, des transports et de l'énergie (nouvelles sources d'énergie et de transport de l'énergie). Ils auront vraisemblablement à accompagner le développement de nouvelles infrastructures (de réseaux, de capteurs...), mais aussi à gérer de nouveaux risques et l'émergence croissante de la technologie, ses usages et ses dangers éventuels, comme sujets politiques à part entière.

## DE QUOI S'AGIT-IL ?

Les sciences et les technologies dont il est question dans cette fiche ressortent, pour simplifier, de quatre domaines – qui seront principalement présentés ici en liaison avec les technologies de l'information et de la communication, même si leur champ d'application s'étend bien au-delà :

- **Les nanosciences et les nanotechnologies**, qui se consacrent à comprendre et manipuler la matière à une échelle proche de celle des molécules (de 1 à 100 nanomètres, ou milliardièmes de mètres), à laquelle se manifestent des propriétés nouvelles ;
- **Les biotechnologies**, qui se fondent sur une compréhension profonde (et largement aidée par l'informatique) des mécanismes du vivant pour produire de nouvelles substances et de nouvelles thérapeutiques ou encore, modifier des processus industriels ou encore, influencer sur la reproduction et la génétique ;
- **Les sciences cognitives**, qui s'intéressent au cerveau et à la connaissance pour agir sur l'apprentissage, la gestion des connaissances et la prise de décision par les organisations, la conception de systèmes complexes et les interfaces homme-machine, les comportements... ;
- **Et les croisements de ces trois grandes disciplines avec l'informatique et les télécommunications**, dans des domaines tels que la modélisation, la simulation, le pilotage de systèmes complexes, la production d'ordinateurs et de logiciels plus puissants et plus autonomes, l'"intelligence artificielle", etc.

Les liens croissants entre ces domaines, du point de vue des applications (sinon des disciplines scientifiques, qui demeurent assez différentes) ont conduit ces américains à les désigner ensemble sous l'acronyme "NBIC" (nano-bio-info-cogno).

Chacun de ces domaines se développe aujourd'hui de manière rapide, poussé par des investissements considérables, privés et publics, civils et militaires. Ils connaissent dès aujourd'hui des applications grand public, certaines spectaculaires, d'autres méconnues. Mais leur potentiel de transformation s'exprime aussi, dès aujourd'hui, dans l'émergence de débats inconcevables il y a quelques années : sur les tests ADN, sur le dépistage prénatal de dispositions à des maladies, sur le traitement médical d'affections psychologiques, sur les possibilités de manipulations neurologiques à des fins marketing, etc. Cela ne fait que commencer. Le potentiel d'application de ces technologies est à peine exploré, mais il apparaît clairement qu'en mettant entre nos mains des capacités sans précédent de connaissance et d'action sur nous-mêmes et sur notre environnement, elles pourraient transformer notre manière de voir le monde. Des distinctions aussi fondatrices que celles qui séparent le naturel de l'artificiel, le spirituel (ou le virtuel) du physique ou du biologique, le vivant de l'inerte... se trouvent fragilisées par l'émergence de ces technologies.

## ÉTAT DES LIEUX

### Les principales technologies en synthèse

<p><b>Nanosciences et nano-technologies</b></p>	<p>Regroupent un ensemble de connaissances et de technologies qui se consacrent à comprendre et manipuler la matière à une échelle inférieure à 100 nanomètres (milliardièmes de mètres), à laquelle il devient possible d'exploiter des propriétés nouvelles de certains matériaux.</p> <p>Les nanotechnologies se focalisent d'une part sur la création de nouveaux matériaux, d'autre part sur la création de systèmes complexes de très petite taille (tels que des laboratoires de tests biologiques sur une seule puce électronique) et enfin, sur la transformation des modes de fabrication traditionnelle "par le haut" (on taille, grave, réduit un matériau existant) au profit d'approches "par le bas" (on assemble des composants de base, atomes ou molécules) qui sont le propre de la chimie... et du vivant.</p>
<p><b>Biotechnologies</b></p>	<p>Désignent l'application de la technologie aux organismes vivants ainsi qu'à leurs composants et leurs produits. Issues d'un mariage entre la biologie et un ensemble de techniques issues de la chimie, la physique, la génétique, l'informatique..., elles permettent désormais d'agir au niveau des cellules ou des molécules individuelles (biologie moléculaire), et de décrypter, puis de manipuler, les gènes d'organismes vivants (génie génétique).</p> <p>On distingue traditionnellement les biotechnologies médicales et pharmaceutiques (diagnostics, médicaments, traitements préventifs...), les biotechnologies industrielles (catalyseurs, épuration d'eau...) et les biotechnologies appliquées à l'agriculture et l'agro-alimentaire, dont font partie les plantes transgéniques.</p>
<p><b>Sciences cognitives</b></p>	<p>Désignent un ensemble de disciplines visant à l'étude et la compréhension des mécanismes de la pensée, du cerveau et de la connaissance : la perception, l'intelligence, le langage, le calcul, le raisonnement... Les sciences cognitives associent des disciplines aussi diverses que la linguistique, l'anthropologie, la psychologie, les neurosciences, la biologie, la physique...</p> <p>Le courant dominant, et celui dont les applications industrielles apparaissent les plus évidentes, considère le cerveau comme un dispositif logique qui peut être étudié, modélisé et éventuellement influencé ou reproduit à l'aide d'ordinateurs. Les recherches portent sur des domaines tels que la mémoire, l'attention, le langage, l'apprentissage ou encore, l'intelligence artificielle.</p>
<p><b>"Convergence" NBIC (nanos-bios-informatique-sciences cognitives)</b></p>	<p>Les nanotechnologies, les biotechnologies, l'informatique et les sciences cognitives demeurent des champs distincts, mais leurs rapprochements sont nombreux. Par exemple, les biotechnologies et les neurosciences modélisent l'ADN ou le système nerveux comme des dispositifs de traitement de l'information, qui peuvent être simulés, voire contrôlés, par des ordinateurs. En sens inverse, l'informatique et la robotique s'intéressent aux processus vivants pour résoudre de nouveaux problèmes, inventer de nouveaux logiciels ou de nouvelles formes d'interfaces avec les humains.</p>

## Quelques ordres de grandeur

- En octobre 2007, le portail d'information Nanotechproject, avait identifié 580 produits ou lignes de produits grand public commercialisés sur le marché américain et contenant des nanotechnologies
- Des rapports publiés par des instituts privés estimaient, mi 2007, le nombre d'entreprises européennes spécialisées dans les nanotechnologies à environ 300, dont une centaine pour la seule Allemagne, une cinquantaine pour le Royaume-Uni et une vingtaine pour la France, la Suède et la Suisse. L'investissement annuel en R&D dépasserait 1,2 milliards d'euros, dont 600 millions provenant des budgets européens, ce qui placerait l'Europe à égalité avec le Japon et les Etats-Unis.
- En 2003 (derniers chiffres OCDE connus), la France comptait 755 entreprises actives en biotechnologies (607 en Allemagne, 2 196 aux Etats-Unis), dont 458 en font leur seule activité (538 en Allemagne). Ces entreprises employaient 8 900 personnes (172 000 aux Etats-Unis) pour un chiffre d'affaires de 1,5 Mds €, en croissance très rapide.
- Les sciences cognitives et les neurosciences ne sont ni une discipline académique bien délimitée, ni un secteur économique, et leurs applications industrielles demeurent peu nombreuses. On ne dispose pas à ce stade de chiffres solides sur leur développement.

## Les inquiétudes et les critiques

Les trois ensembles de technologies décrits ici ont, presque dès l'origine, suscité des inquiétudes, voire parfois un rejet, qui en feront dans les années à venir un sujet politique à part entière, y compris au plan local.

Les objections portent sur deux sujets :

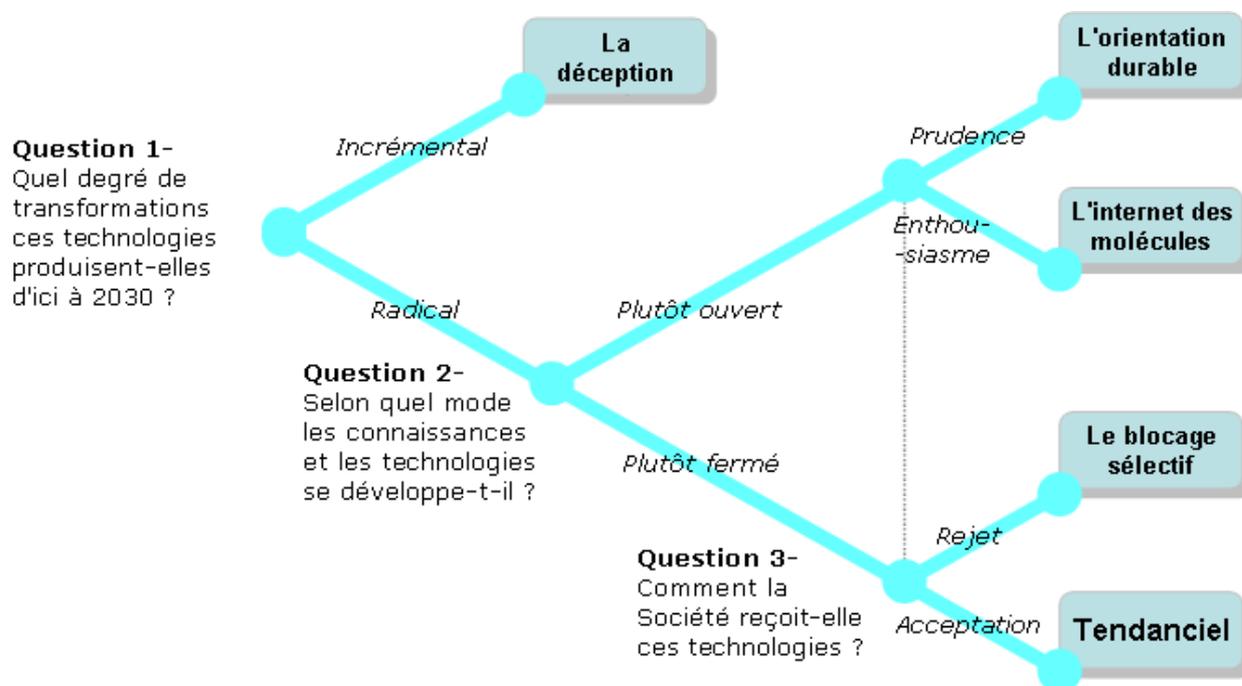
- Les risques sanitaires et environnementaux que pourrait créer la diffusion incontrôlée de produits incorporant ces technologies : risques liés au contact avec le corps humain, à la dissémination dans l'environnement ou encore, à l'usage malveillant de ces technologies. Le "principe de précaution" est né de ces inquiétudes et de ces incertitudes.
- Les effets économiques et sociaux produits par ces technologies, soit en elles-mêmes, soit du fait de la manière dont elles se développent et se diffusent : appropriation du vivant ou des composants fondamentaux de la matière, extension abusive du domaine de la technologie (surveillance, dépistage de prédispositions chez les jeunes enfants, médicalisation de problèmes tels que le stress)...

## ÉLÉMENTS DE PROSPECTIVE

La réflexion prospective sur le développement des nano-bio-neurotechnologies – et sur leur lien avec celui des territoires – peut s'organiser autour de trois questions :

- Que saura-t-on faire ? En particulier, ces technologies produisent-elles des transformations de nature révolutionnaire ("nano-usines", traitements préventifs contre le vieillissement, technologies énergétiques décentralisées...), ou des améliorations incrémentales ?
- Quel est le mode de développement de ces technologies ? En particulier, ce développement est-il avant tout ouvert, fondé sur le partage et l'échange des connaissances, ou propriétaire, fondé sur la propriété intellectuelle, jusque sur le vivant et les constituants de la matière ?
- Comment la société répond-elle à ces technologies ? Avec enthousiasme, passivité, prudence ou réticence ?

Nous en déduisons un scénario tendanciel et quatre variantes :



### L'hypothèse tendancielle

Les technologies "NBIC" progressent et se diffusent d'une manière rapide, et produisent des transformations profondes dans plusieurs domaines, en particulier l'environnement, l'énergie, l'électronique (dès 2010) puis l'agriculture, la défense et la santé (vers 2020). Ces technologies contribuent à stimuler la croissance économique, malgré les problèmes que posent le changement climatique et l'enchérissement continu des énergies fossiles – auxquels les nano-biotechnologies contribuent par ailleurs à répondre. Le coût d'accès à ces technologies produit un mouvement de reconcentration économique.

En dehors des questions de santé publique, les opinions s'inquiètent peu des éventuelles conséquences indirectes du développement de ces technologies. Les territoires s'adaptent aux évolutions des systèmes énergétique (décentralisation croissante des sources d'énergie) et de santé (médecine préventive, soins à domicile, concentration des grands équipements). La concentration économique les rend plus dépendants, les pôles de compétitivité régionaux perdent de leur pertinence. De nouvelles responsabilités pèsent sur les élus : il s'agit à la fois d'utiliser ces technologies à des fins de surveillance,

traçabilité et prévention, et d'appliquer le principe de précaution pour prévenir les risques éventuels liés aux mêmes technologies.

## Quatre variantes possibles

- **Variante N°1 : La déception**

Les bio-nanotechnologies et les sciences cognitives sont à l'origine de nombreux produits et services innovants, parfois très utiles, mais ils ne produisent pas la révolution espérée, ni dans la médecine, ni dans l'industrie, ni dans l'agriculture ou l'énergie. Cette série de déceptions pénalise la croissance mondiale. Les secteurs liés au numérique redeviennent en vogue, après avoir été un peu laissés de côté au bénéfice des bio-nanotechnologies. L'innovation dans les services, les méthodes, le design, devient prioritaire. Dans les territoires, la croissance ne peut plus reposer sur les seules "nouvelles technologies", mais sur les services et la créativité, dans un contexte de concurrence mondiale très active. Enfin, il apparaît clairement à tous que les réponses aux questions environnementales et sanitaires ne proviendront pas la science, mais des choix politiques.

- **Variante N°2 : Le blocage**

Les progrès rapides des "NBIC" se heurtent à une vive réaction de la société. Des manifestations, voire parfois des opérations violentes (arrachage de caméras de surveillance et de puces Rfid, saccage de laboratoires de recherche...) marquent l'opinion. Des moratoires sont imposés dans certains pays, tandis que de nombreux produits issus des technologies NBIC font l'objet d'un étiquetage obligatoire, voire d'une autorisation préalable. Après une période de crise, les industries prennent alors le virage du bio, du "doux" et du durable. Les territoires doivent tout d'abord gérer les débats locaux autour des technologies, puis accompagner le virage vers de nouveaux modes de production et de vie.

- **Variante N°3- L'"internet des molécules", nouvelle frontière**

En résistance aux tentatives d'appropriation du vivant et des connaissances issues des nanotechnologies et des sciences cognitives, les Etats et l'UE finissent pas privilégier un modèle ouvert de développement des connaissances et des technologies. D'énormes bases de données de gènes, d'observations scientifiques, de modèles, etc., sont ouvertes aux scientifiques du monde entier. Ce mouvement se conjugue avec l'aspiration, issue de l'internet, à une plus grande intervention des "usagers" dans l'innovation, voire dans la production. La croissance est tirée par un mouvement d'innovation intensive, produisant des grandes réussites, des "bulles" à répétition et des bouleversements continus dans les secteurs d'activité plus installés. L'augmentation des capacités humaines fait partie des grands domaines d'innovation, de même que la décentralisation de la production vers des unités plus petites et plus locales. Les territoires doivent s'adapter à un modèle de développement – mais aussi, vraisemblablement –, de société, totalement décentralisé, en mouvement constant.

- **Variante N° 4- L'orientation durable**

Au lieu d'être considérées comme la dernière incarnation d'un mode de développement prédateur et de la fuite en avant technologique, les NBIC se voient mises au service des objectifs environnementaux. Leur développement s'organise sous un fort contrôle éthique et politique, au service de besoins sociaux précisément identifiés. Les risques font l'objet d'une évaluation continue. Les progrès sont rapides, mais tout le monde travaillant sur les mêmes sujets, des pistes plus originales ne sont pas explorées. Ces technologies demeurent en permanence l'objet de débats qui produisent des successions de coups de freins puis d'accélération prudentes. Les territoires y trouvent une convergence entre leurs interventions en matière de recherche, de développement économique et de développement durable, au prix de responsabilités nouvelles et d'un rôle de pilotage très actif.