

Au plus près de l'invention des nanotechnologies et de l'avenir de nos sociétés

La remise en démocratie des sciences et développements technologiques, qui façonnent l'avenir de nos sociétés, passe par une discussion approchée de ce qui se fabrique dans les laboratoires et les entreprises, et que cela suppose aussi de se pencher sur les conditions de la recherche et de l'innovation. Les produits scientifiques et technologiques reflètent en partie les conditions de leur invention et production. Aussi, convient-il de se pencher sur des questions comme les types de partenariat qui sont construits dans et autour de la recherche, les articulations entre disciplines, les organisations de recherche, les identités professionnelles des chercheurs.

DOMINIQUE VINCK

Avec le développement des nanotechnologies, les chercheurs, les industriels, les politiques et bien d'autres encore œuvrent à la transformation de notre société. Les enjeux économiques mais aussi politiques, sociétaux, voir anthropologiques et éthiques, sont colossaux. Il serait logique que chacun s'intéresse à cette nouvelle fabrique de la société et qu'il fasse valoir ses droits de citoyen, car les orientations de notre avenir sont déjà en cours de définition. Il n'y a donc pas de raison de laisser hors de la vigilance et du débat démocratiques cette part de l'activité socioéconomique qui transforme subrepticement notre environnement, nos produits de consommation, nos activités industrielles et les instruments du contrôle social. Il convient donc d'ouvrir la boîte noire des nanotechnologies pour comprendre comment nous sommes en train de transformer la société.

Les nanotechnologies forment un domaine chaud, très chaud même, où la compétition mais aussi quelques controverses sont vives. Les nations, de l'Est (Asie) et de l'Ouest, du Nord et du Sud, comme les entreprises et les chercheurs, manœuvrent pour acquérir des positions plus ou moins favorables dans le contrôle des connaissances, protégées par le droit notamment, en train

d'être fabriquées de façon quasi industrielle. Ces connaissances constituent des ressources indispensables pour qui veut détenir ces positions favorables (si pas dominantes, tout au moins avoir un accès) sur les marchés, mais aussi dans les tables de négociation internationales (par exemple, les comités de l'International Standard Organisation (ISO), où environnementalistes, sociétés de consommateurs, patients, citoyens et pays du Sud sont plus ou moins mal représentés) où se discutent les formes de régulation du jeu (de fabrication et de la circulation, des usages et des fins de vie des produits).

Les acteurs de ce nouveau grand jeu planétaire sont très nombreux. De très nombreuses nations ont défini des politiques publiques prioritaires en faveur du développement des nanotechnologies. Certaines mettent en avant des enjeux de développement durable et de compétitivité technico-économique (c'est le cas de l'Europe), des enjeux sécuritaires ou d'amélioration de la condition humaine, y compris des potentialités du corps humain (c'est le cas des Etats-Unis) ou des enjeux de développement au service de leur nation (c'est le cas de plusieurs pays latino-américains). Pratiquement toutes les multinationales, tous secteurs confondus, qui ont des activités de recherche et développement, investissent ces nouvelles technologies pour y trouver les ressources et orientations de leur futur développement économique. De nombreux chercheurs dans les sciences de base, sciences de la vie et dans l'ingénierie voient leurs activités de recherche réorientées (parfois par eux-mêmes) vers ces nouvelles priorités de la recherche.

Les revues économiques et d'affaires annoncent des profits fabuleux dans ce secteur. D'autres prophètes, auteurs de science-fiction et ingénieurs visionnaires, conçoivent nos mondes du futur (soldat, médecine, matériaux, maisons ou villes intelligentes...). Des groupes (de chercheurs ou de citoyens, voire des compagnies d'assurance ou des services de l'Etat) attirent l'attention sur une liste de risques sociétaux (toxicité possible des produits ou leur devenir dans l'environnement, transformation de la nature humaine, nouvelles formes de contrôle social liées à ces technologies de l'intelligence ambiante). Des opposants, parfois très radicaux, entrent en scène, tandis que diverses instances de régulation entrent en action. Les forces en présence (des bataillons d'industries et de chercheurs et, moins nombreux, de services publics et de citoyens) prennent position et, localement, s'engagent dans quelques rapports de forces.

LA CUISINE DU CHERCHEUR

Les chercheurs qui, généralement, se pensent un peu en dehors de tous ces jeux intéressés, constituent toutefois des ressources stratégiques, soutenus par les deniers publics et les investissements industriels. Eux-mêmes, d'ailleurs, se mettent souvent volontiers au service de ceux qui sont prêts à les financer, voire font beaucoup pour les séduire, en imaginant tout le bien qui pourrait être tiré de ces nouvelles technologies : des économies sur la consommation

des matériaux ou de l'énergie, de la valeur ajoutée aux produits (du téléphone mobile aux médicaments ciblés ou aux aliments modifiés), des technologies plus intelligentes (grâce à la multiplication et à la dispersion de capteurs de toutes sortes qui fourniront plein d'informations exploitables pour suivre la vie des produits et les usages qu'en font les consommateurs) et des services de surveillance et de traçage de toutes sortes. Pour y arriver, les chercheurs doivent encore résoudre de très nombreuses énigmes scientifiques concernant le comportement de la matière à très petite échelle (mille fois plus petit que le millième de millimètre) et la façon de manipuler et de contrôler les matériaux à cette échelle afin qu'ils développent les comportements et propriétés désirés. Les nanosciences ne sont pas l'affaire de quelques savants fous, mais de bataillons de chercheurs. Ils publient une part des connaissances qu'ils fabriquent; on totalise actuellement plus de cent-mille articles scientifiques (environ dix-mille nouveaux articles par an). Les Etats-Unis, la France, l'Allemagne, la Suisse, mais aussi la Chine, la Corée et bien d'autres, dont la Belgique avec l'Imec et l'université de Leuven notamment, sont des acteurs significatifs dans cette course à la production de connaissances industriellement utiles.

Les débats publics portent largement sur les produits (finis), les nouvelles technologies, les usages et les risques, souvent anticipés et imaginés (par les visionnaires, les chercheurs, la science-fiction ou par des lanceurs d'alerte). Rares, cependant, sont les débats nourris par un examen rapproché de la fabrique industrielle ou scientifique des nouveaux concepts technologiques. Ils se développent soit sur la base de choses imaginées, soit sur la base d'objets presque déjà finalisés. Dans le premier cas, la réflexion et la discussion peuvent facilement explorer diverses options alternatives (ce qui est fort utile), mais elles manquent d'ancrage dans ce qui est réellement en train de se fabriquer en laboratoire et dans les bureaux d'études ou de marketing industriel. Dans le second cas, elles peuvent s'ancrer sur des choses concrètes dont on peut commencer à tester réellement les propriétés et les risques, mais l'exploration est fortement contrainte par les choix technologiques et les investissements déjà consentis. Une solution complémentaire consiste à s'approcher du travail des chercheurs et des ingénieurs en train d'imaginer, de concrétiser et de tester de nouveaux concepts. Pour ce faire, diverses stratégies sont concevables: interroger des chercheurs ou les faire intervenir dans des discussions; suivre de près la masse des publications scientifiques et des brevets; observer *in situ* le travail en train de se faire; organiser des formes de dialogues permanents avec des groupes de recherche.

Dans cet article, nous parlerons seulement de quelques résultats d'observations réalisées au sein de laboratoires de recherche. Des informations plus complètes sur les différents cas ou questions évoquées peuvent être trouvées dans nos publications et dans celles de nos collègues (Hubert, 2007; Jouvenet, 2007; Vinck, 2005, 2006, 2009; Vinck et Robles, 2011). Nous montrons que, dans ces laboratoires, ce ne sont pas seulement des connaissances nouvelles, des publications et des brevets qui sont fabriqués, mais aussi des orientations de recherche, des organisations, des compétences et des identités professionnelles. Nous ne discuterons pas des nouveaux objets qui s'y conçoivent mais plutôt

des dynamiques qui traversent ces lieux de fabrication de connaissances. Les dynamiques à l'œuvre dans les organisations de recherche devraient probablement être débattues en même temps que les artefacts produits, car les deux choses sont liées. Partenariats industriels, articulation des disciplines, transformation des organisations et des identités professionnelles des chercheurs sont étroitement liés aux nouvelles technologies en train de se développer. Pour remettre les sciences et développements technologiques en démocratie, il ne suffit probablement pas de discuter des produits finis, des technologies qui sortent des laboratoires ; il faut probablement aussi discuter des organisations et des conditions de la recherche.

LE PASSAGE AU NANO

Depuis la fin des années nonante, une vague « nano » déferle dans le monde des sciences et du développement technologique. On peut se demander si c'est un effet de mode, passager ou la suite logique d'une évolution technologique programmée ou une tendance lourde qui s'impose aux acteurs. Les acteurs scientifiques et industriels se réfèrent à des feuilles de route (*roadmap*) qui fixent les contenus et les échéances des développements technologiques qu'ils anticipent, comme si la seule incertitude serait de savoir qui restera dans la course ou qui arrivera le premier à maîtriser les connaissances et la réalisation technique. Le passage des micro aux nanotechnologies, par contre, semble s'imposer à tous. Or, l'observation d'un laboratoire montre que le sens de l'histoire technologique et industrielle n'est pas aussi linéaire qu'on pourrait le penser.

Le laboratoire observé est spécialisé dans l'invention et la mise au point de nouveaux concepts de microsystèmes (notamment des capteurs de pression pour les pèse-personnes, des accéléromètres pour la détection de chocs, des gyroscopes, etc.) et présente des démonstrateurs, des preuves de concept et des connaissances devant permettre de reproduire industriellement les résultats obtenus en laboratoire. Il est largement financé par des entreprises et des ministères techniques (défense notamment). Il a pour mission d'assurer le transfert des résultats de la recherche vers le développement industriel. Le laboratoire observé rassemble une quarantaine de personnes (ingénieurs, doctorants et techniciens) qui dépendent d'une plateforme technologique qui regroupe des instruments mi-lourds, rares et coûteux ainsi qu'un personnel technique hautement qualifié qui exécute les travaux demandés. L'observation, qui se déroule entre 2003 et 2009, met en évidence une série de retournements de situation liés au jeu des acteurs et aux réactions des matériaux et des instruments utilisés.

En 2004, aucun projet ne porte le label « nano ». Les chercheurs disent ne pas être concernés par les nanos. Pour eux, cela concerne d'autres chercheurs : les gens des matériaux et de l'électronique hors silicium ainsi que de la recherche fondamentale. Le labo fait partie d'un ensemble qui devrait, en 2006, constituer un grand pôle de recherche sur les micro et nanotechnologies (MNT) qui reçoit beaucoup de publicité, mais les chercheurs ne se sentent pas concernés. Les nanos ne sont pas leur affaire. Leur avenir est toutefois devenu

incertain parce que le volume des contrats industriels diminue du fait que ces industriels ont acquis la compétence permettant de se passer désormais des chercheurs. Le labo explore alors de nouvelles pistes innovantes, mais rien ne concerne les nanos.

En quelques mois (automne 2004-printemps 2005), la thématique « nanosystèmes » émerge dans le labo; désormais, tous en parlent. C'est la nouvelle priorité du labo. Il ne s'agit toutefois pas de faire des nanos comme n'importe qui (chercheur ou industriel ailleurs dans le monde); il s'agit de concevoir des nanosystèmes utiles sur le plan industriel, et pas seulement des concepts technologiques fascinants, mais inutiles (comme le nanocamion qui n'avance que sur une surface d'or chauffée à 400 °C). Pour quelques jeunes chercheurs, le changement correspond à une autre vision du monde, une rupture technologique, qui change leur position dans l'organisation; de parents pauvres à côté de la microélectronique, ils entreraient dans une phase de convergence technologique et culturelle avec la microélectronique. Les chercheurs sont enthousiastes; « ça change toute l'activité du labo. » Ils montent plusieurs projets et attendent, anxieux, de savoir si les pouvoirs publics (français et européens) et les industriels vont suivre leurs propositions. « On démarre des choses, mais on ne sait pas où on va. C'est à la fois motivant et stressant. Ça n'arrivera peut-être à rien », dit un des chercheurs.

À partir de mai 2006, les membres du laboratoire apprennent que la majorité des projets qu'ils ont proposés sont acceptés, ce qui est une réussite exceptionnelle. En outre, les industriels contactés, après avoir été réticents vis-à-vis des nanosystèmes qu'ils voyaient comme des spéculations de chercheurs, se montrent finalement intéressés. L'avenir n'est plus perçu comme incertain; tout semble aller dans le sens des nanos. Les ressources financières arrivent et les partenariats se mettent en place. De nouvelles connaissances sont produites, formalisées, exposées et publiées.

Toutefois, au début de l'année 2007, les chercheurs se posent des questions. Après huit mois de travail, aucun résultat n'est au rendez-vous et les chercheurs ne comprennent pas ce qui se passe. Les nanos, ça ne marche pas. Les nanosystèmes conçus et fabriqués sont mal formés et/ou ne sont pas fonctionnels. Depuis plusieurs mois, les résultats négatifs arrivent les uns après les autres et les voies de solutions essayées ne se révèlent pas fécondes. Les nano-objets ne se comportent pas comme prévu. Les chercheurs sont déçus. Leur moral s'effondre. La menace sur leur avenir redevient au premier plan de leurs préoccupations. Ils sont particulièrement inquiets vis-à-vis de leurs interlocuteurs industriels, si difficiles à convaincre de passer aux nanos. Les chercheurs se demandent ce qu'ils pourront leur raconter. L'ambiance est morose. Deux techniciens quittent le labo tandis que les autres ne sont pas certains qu'y rester soit une bonne solution. Des chercheurs refusent toutefois la fatalité et se raccrochent à ce qu'ils maîtrisent. Ils proposent de revenir en arrière, non pas jusqu'aux microsystèmes, mille fois plus gros, mais à des hybrides entre micro et nano afin de ne pas décevoir les attentes industrielles en termes de réduction d'échelle et de coût.

En 2008, l'ambiance est à nouveau bonne. Un contrat industriel a été renouvelé. Non seulement la voie des hydrides micro-nano est féconde et convainc les industriels, mais, finalement, certains nanosystèmes donnent aussi des résultats (d'autres sont définitivement abandonnés). En outre, les microsystèmes, qui semblaient être un axe de recherche dépassé, retrouvent une nouvelle vitalité avec de nouveaux défis technologiques et industriels. Désormais, le labo qui semblait passer d'un axe micro à un axe nano se retrouve désormais avec trois axes parallèles : micro, micro-nano et nano. L'évolution technologique n'a rien de linéaire. Elle ne s'impose pas comme une évidence.

CONVERGENCE DES DISCIPLINES

Dans les discours qui entourent les nanotechnologies, il est largement question du fait qu'une vaste convergence des sciences (physique, chimie, biologie, sciences de la cognition et sciences sociales) serait à l'œuvre à l'échelle nanométrique. Bien que le phénomène soit largement contesté par les chercheurs en sciences sociales qui suivent de près ces évolutions (à partir de la scientométrie ou de l'observation rapprochée de laboratoires), dans le cas de nos observations de terrain, nous assistons à une forme de convergence locale.

Comme en bien d'autres endroits, les chercheurs observés forment des groupes qui tendent à se spécialiser, à se subdiviser et à souligner leur différence par rapport à d'autres groupes. Cela tient notamment à l'usage de matériaux incompatibles comme l'exprime un chercheur : « Nous, on aime bien le fer parce que le fer c'est magnétique, mais le fer on ne veut pas en entendre parler du côté du CMOS parce que c'est un polluant, donc forcément, le clivage est imposé. Il est imposé parce qu'on n'a pas les mêmes salles blanches, on n'a pas les mêmes machines, donc on n'aura pas les mêmes personnes qui vont travailler dessus. » Les barrières entre eux tiennent aussi aux outils et aux cadres conceptuels utilisés : « On n'utilise pas les mêmes outils. Nous, on est contraint parce qu'on a des matériaux très bizarres et très compliqués, on ne sait pas les graver, donc on a une technique un peu bête et méchante, mais qui marche très bien. [...] Donc on reste dans des clivages techniques qui sont très forts. » Au sein d'un même laboratoire, la convergence entre cultures scientifiques ne va pas de soi : « On ne se comprend pas forcément. On n'a pas les mêmes concepts, on ne voit pas les choses de la même façon. Donc ça n'est pas toujours évident, de se comprendre, de savoir de quoi on parle. » Aussi, se retrouver en réunion ne va pas de soi : « C'était souvent perçu comme une contrainte parce que, justement, il y avait ce côté où on avait l'impression de ne pas comprendre ce que faisaient les autres. On a passé une après-midi à écouter des gens dont on comprenait à peine ce qu'ils faisaient. »

La convergence au sein des microsystèmes ne va pas de soi. Elle l'est encore moins vis-à-vis d'autres groupes de recherche, par exemple ceux de la microélectronique. Lorsque nous sommes entrés dans ce laboratoire, nos interlocuteurs nous expliquèrent que, eux, ils sont « microsystèmes » et que cela n'a rien à voir avec ceux de la « microélectronique ». En réunion, un chercheur

explique que « eux, les microélectroniciens, ils ne peuvent pas comprendre nos problèmes de microsystèmes ». Ils parlent alors des « aristocrates de la microélectronique » par opposition à eux-mêmes, les « artisans bricoleurs de microsystèmes », physiciens plus qu'électroniciens.

Les contours des groupes et leurs référents culturels bougent avec le passage des micro aux nanosystèmes. Progressivement, les chercheurs en microsystèmes en viennent à découvrir que le changement d'échelle des objets leur impose de recourir à des instruments propres à la microélectronique. Des coopérations se mettent alors en place. Du coup, l'idée émerge « d'intégrer, dorénavant, avec les mêmes équipements, sur une même puce, un capteur, qui sera de dimension nanométrique, et une électronique associée pour fabriquer les bases transistor classique. Donc derrière tout ça, pour moi, c'est vraiment une vision ». Les identités professionnelles se mettent alors à bouger. Ce qui paraissait figé et explicatif des coopérations impossibles est renvoyé au passé.

TRANSFORMATION DES ORGANISATIONS DE RECHERCHE ET RECONSTRUCTIONS IDENTITAIRES DES CHERCHEURS

Les nanotechnologies ne correspondent pas seulement à des changements d'objets de recherche et à de nouvelles applications technologiques. Elles sont aussi l'occasion de transformations qui traversent le monde des sciences. Nous avons déjà évoqué les rapprochements « culturels », à l'occasion du passage aux nanos. Nous allons maintenant aborder la transformation des organisations et la façon dont elles touchent les cultures professionnelles des chercheurs. Nous prendrons cette fois l'exemple de laboratoires de physique, actifs dans les nanosciences.

Avec les nanos, les chercheurs se trouvent confrontés à l'émergence de dispositifs de recherche destinés à fluidifier l'innovation en reliant les laboratoires aux marchés. Les politiques de l'innovation visent à optimiser les conditions de la concurrence et de la coopération entre acteurs de l'innovation. Il s'agit notamment d'associer recherches fondamentale et appliquée, secteurs privé et public, chercheurs et ingénieurs de différentes disciplines. Les nanos constituent le domaine de prédilection de ces rapprochements. L'objectif est d'impulser des avancées technologiques convertibles en emplois durables — car hautement qualifiés.

Les physiciens observés insistent sur un aspect de leurs pratiques de recherche, qui contraste fortement avec les modèles organisationnels qui tendent à être imposés par les nouvelles politiques de l'innovation : le bricolage instrumental (Jouvenet, 2007). Ils mettent ainsi en valeur le caractère local, situé, du processus d'innovation scientifique qu'ils opposent à la logique de planification industrielle qui s'imposerait à la recherche. Ils insistent sur l'imprévisibilité avec laquelle doit composer la recherche de base. Au cœur de leur activité, figurent des instruments dont dépendent non seulement la nature et la forme des résultats qu'ils produisent, mais aussi leurs relations de travail.

Certains instruments constituent mêmes des symboles forts de leur identité, des totems professionnels qui contribuent à définir l'identité de leur équipe ou laboratoire. Ces instruments, chers et rares, attirent aussi de jeunes chercheurs, des financements, des partenaires industriels.

Manquer de tels instruments revient à réduire ses chances de bien figurer dans la compétition scientifique internationale et de commettre des publications originales et de qualité. L'amélioration continue des instruments est aussi importante pour rester « dans la course » et appartenir à la « ligue des champions. » Elle passe par la veille technologique, les discussions avec les fabricants et entre chercheurs, mais aussi et surtout par leurs pratiques de déconstruction et reconstruction des dispositifs expérimentaux, les astuces dont ils font preuve et leur créativité instrumentale. Bien que ces instruments relèvent de la haute technologie, les chercheurs les bricolent avec des ressources ordinaires, dont ils s'enorgueillissent parfois (utilisation d'une corde de guitare, d'un bout de carton et de scotch) tant elles permettent de créer des « manips » originales. Ils tirent aussi leur fierté de leur capacité à récupérer des instruments et à les mélanger de façon inhabituelle. « C'est de la bidouille » qui permet aux chercheurs d'accroître la portée d'un dispositif expérimental.

Dans le laboratoire observé, les physiciens parlent toutefois du bricolage expérimental comme d'un savoir-faire en voie de disparition, empreint de nostalgie et de lutte pour la préservation d'une pratique menacée par la gestion industrielle de l'activité scientifique. Le bricolage serait à contre-courant et constituerait, de ce fait, une forme de résistance à ce que les institutions font passer sous couvert de politique de l'innovation et de défi des nanotechnologies. Leur héroïsme scientifique tient aux innovations qu'ils ont apportées lors de recherches réalisées « en perruque », de façon clandestine, à l'insu du management institutionnel et en marge des programmes officiels. Ils se présentent comme des « inventeurs de sentiers dans les jungles de la rationalité fonctionnaliste. » Leur rationalité scientifique est valorisée par leur bricolage qui, par contre, rejette les procédures standardisées inscrites par les constructeurs dans les instruments et par les managers dans les organisations. Pour innover, ces physiciens prétendent qu'il faut tordre les dispositifs

Références

Hubert M. (2007), « Hybridations instrumentales et identitaires dans la recherche sur les nanotechnologies. Le cas d'un laboratoire public au travers de ses collaborations académiques et industrielles », *Revue d'anthropologie des connaissances*, 1(2), p. 243-266.

Jouvenet M. (2007), « La culture du "bricolage" instrumental et l'organisation du travail scientifique. Enquête dans un centre de recherche en nanosciences », *Revue d'anthropologie des connaissances*, 1(2), p. 189-219.

Vinck D. (2005), « Ethnographie d'un laboratoire de recherche technologique : analyse de la médiation entre recherche publique et appropriation privée », *Sciences de la société* (66), p. 73-91

Vinck D. (2006). « L'équipement du chercheur. Comme si la technique était déterminante », *Ethnographie.org* (9).

Vinck D. (2009), *Les nanotechnologies*, éd. Le Cavalier bleu, coll. « Idées reçues ».

Vinck D. (2009), « Le "passage au nano". Comment un laboratoire s'arrange avec des incertitudes majeures », p. 23-39, dans Y. Chalas, C. Gilbert, D. Vinck (dir.), *Comment les acteurs s'arrangent avec l'incertitude*, Éditions des archives contemporaines.

Vinck D., Robles E. (2011), « Convergence dans les nanosciences et les nanotechnologies. Le cas des micro et nanosystèmes », dans B. Miège, D. Vinck (éd.), *Les masques de la convergence. Enquêtes sur sciences, industries et aménagements*, éditions des archives contemporaines.

expérimentaux et les procédures, ouvrir les dispositifs pour être capables de faire preuve de réactivité scientifique. Ils insistent sur les marges de manœuvre et le jeu avec les instruments comme preuve de démocratie à l'intérieur de leur organisation de la recherche, qu'ils opposent aux décisions venant d'« en haut », à la rationalisation et à la centralisation de l'organisation du travail scientifique.

Cette logique qu'ils défendent entre en tension avec les *roadmaps* industrielles et la rationalisation de l'activité de recherche, liée à la mutualisation des ressources instrumentales partagées entre équipes de recherche de disciplines différentes, particulièrement manifestes dans le domaine des nanosciences et nanotechnologies. Forcés de coopérer dans des projets et sur des plateformes, ils ajustent leurs identités collectives; ils réfléchissent sur le métier et ses conditions d'exercice pour répondre aux transformations du monde de la recherche et construire une nouvelle différenciation professionnelle. ■