

**Bernadette Bensaude-Vincent**

**Se libérer de la matière ?  
Fantasmes autour des nouvelles  
technologies**

Une conférence-débat organisée  
par le groupe *Sciences en questions*  
Paris, INRA, 27 mai 2004

**Institut National de la Recherche Agronomique**  
147, rue de l'Université, 75338 Paris cedex 07

La collection «Sciences en questions» accueille des textes traitant de questions d'ordre philosophique, épistémologique, anthropologique, sociologique ou éthique, relatives aux sciences et à l'activité scientifique. Elle est ouverte aux chercheurs de l'INRA mais aussi à des auteurs extérieurs.

Directeurs de collection

Raphaël Larrère  
Françoise Lescourret

*Le groupe de travail «Sciences en questions» souhaite favoriser la réflexion critique des acteurs de la recherche sur l'activité scientifique et ses implications. Son ambition première est d'enrichir la réflexion interne à l'INRA en l'alimentant de contributions propres à éclairer, sous une forme accessible et attrayante, les débats contemporains sur la science et la recherche.*

Texte rédigé par l'auteur à la suite de la conférence avec la collaboration d'Elena Rivkine et mis en forme par Joëlle Veltz.

© INRA, Paris, 2004 ISSN : 1269-8490 ISBN : 2-7380-1185-3

Le code de la propriété intellectuelle du 1<sup>er</sup> juillet 1992 interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette proposition met en danger l'édition, notamment scientifique. Toute reproduction, partielle ou totale, du présent ouvrage est interdite sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20 rue des Grands-Augustins, 75006 Paris, France.

## Préface

Agrégée de philosophie, en 1971, tu te retrouves professeur dans un lycée. Tout en occupant divers postes de chargés de cours à l'université, tu le resteras jusqu'au lendemain de ta thèse, en 1981. Ton intention avait été de faire une thèse d'histoire de la philosophie, sur Auguste Comte. Tu as alors voulu confronter sa philosophie des sciences aux sciences qui lui étaient contemporaines. Bien sûr, comme tu ne pouvais toutes les embrasser, il te fallait choisir. Tu as décidé de t'investir dans la chimie, bien que cette discipline ait été quelque peu négligée par Comte. C'est ainsi que, tout en continuant à étudier le positivisme, tu as construit une thèse sur l'histoire conceptuelle de la chimie. Ce faisant, tu t'es située en marge de la philosophie des sciences contemporaine, qui tend à focaliser son attention sur la physique. Mais tu t'es aussi inscrite dans la continuité d'une tradition française : à des titres divers, Emile Meyerson, Pierre Duhem, Hélène Metzger, Gaston Bachelard et François Dagognet avaient réfléchi sur la chimie.

En 1981, tu soutiens donc ta thèse, sous la direction de Michel Serres. Elle porte sur l'émergence d'un concept scientifique de base en chimie, celui d'élément chimique, comme « être de relation » ayant la capacité de se lier à d'autres êtres, mais pas à tous. Contrairement à une idée reçue de l'histoire de la chimie, ce n'est pas chez Lavoisier que tu vois s'élaborer ce concept mais bien plus tard, chez Mendeleïev dans la construction du tableau que nous avons tous vu affiché sur les murs du lycée.

La thèse soutenue, te voici chargée de mission à la Cité des sciences et de l'industrie de La Villette, où tu prends part à l'équipe de conception des expositions permanentes. Une expérience de la vulgarisation qui a sans nul doute été la source de ton travail ultérieur sur la science et le public. Puis avec la création du Centre de recherche en histoire des sciences et des techniques, ouvert aux recherches internationales, et particulièrement aux *science*

*studies*, tu vas apprendre le métier d'historien des sciences en société. Dès lors tu poursuis deux objectifs.

Le premier, dont témoignera en 1993 l'ouvrage co-rédigé avec Isabelle Stengers sur l'histoire de la chimie, entend dégager des vues d'ensemble. En amont de ton travail de thèse, tu étudies Lavoisier et son laboratoire. En aval, tu abordes le XX<sup>e</sup> siècle, avec l'œuvre de Paul Langevin. Ces investigations te conduisent à faire l'hypothèse d'une manière spécifique aux chimistes d'expérimenter, d'administrer la preuve et, au-delà, d'une conception spécifique à la chimie de la matière.

Car, tel est ton second objectif depuis que tu as eu à traiter de la matière au programme de l'agrégation : comment penser la matière ? Plus exactement, puisque tu as choisi la chimie pour terrain, comment penser la matière individualisée sous forme d'une multiplicité indénombrable de matériaux ? La chimie pourrait-elle contribuer à une philosophie de la matière ou bien même fonder une philosophie matérialiste ?

Entamées à La Villette, ces recherches sont poursuivies lorsque tu deviens maître de conférences, puis professeur à l'université de Paris X - Nanterre. Tout en animant le programme « Langage et communication en chimie » de la Fondation européenne de la Science, tu as coordonné, avec Anne Rasmussen, un autre programme international intitulé « Sciences et publics » pour le Centre de recherches en histoire des sciences et des techniques de la Cité de La Villette. Tu en profiteras pour développer une réflexion originale sur l'histoire de la vulgarisation. De la première activité témoigne un ouvrage collectif paru en 1997 aux éditions du CNRS : *La science populaire dans la presse et l'édition* ; de la seconde, un travail plus personnel, plus philosophique, et plutôt réjouissant, que tu publieras en l'an 2000 : *L'opinion publique et la science – À chacun son ignorance*. Étrangement, les éditions du Seuil, pour la réédition de l'ouvrage, lui ont donné un nouveau titre : *La science contre l'opinion – Histoire d'un divorce*. Comment le « et » peut-il se traduire en « contre » ?

Malgré les responsabilités scientifiques et administratives (direction du département de philosophie, direction du DEA, présidence de la section 72 du Conseil national des universités, etc.) qui incombent aux universitaires français et bien souvent entravent leurs travaux personnels, tu n'as pas délaissé le travail qui importe, celui de la recherche ! Tu passes, insensiblement, d'une histoire conceptuelle de la chimie en tant que science déjà faite, à une réflexion philosophique sur cette science telle qu'elle est en train de se faire. Tout en revisitant, dans le prolongement de tes travaux passés, les concepts d' « élément » et de « mixte », tu engages des investigations sur la « science des matériaux ». S'agit-il d'ailleurs d'une science, ou d'un simple champ de recherche, suscité par une conjoncture historique, à la croisée de la physique des solides et de la chimie, mais aussi de la métallurgie et du génie chimique ? Science du mixte, et « mixte » de science et d'ingénierie, cette science des matériaux, dont les applications industrielles sont considérables, influence beaucoup les orientations des recherches fondamentales tant en chimie qu'en physique des solides. De ces recherches témoigne l'ouvrage que tu fais paraître en 1998 : *Éloge du mixte – Matériaux nouveaux et philosophie ancienne*.

Dès lors, entraînée par la dynamique de la science en action, tu multiplies les contacts avec les spécialistes de la science des matériaux. Depuis la fin des années quatre-vingt, la recherche de nouveaux matériaux « sur mesure » et multifonctionnels les conduit à s'intéresser à ceux que fabriquent les êtres vivants : toiles d'araignées, coquilles de mollusques, carapaces d'insectes et de crabes. Sous la bannière du biomimétisme, la volonté d'imiter le vivant s'étend à bien des secteurs de la recherche et les chimistes se mettent « à l'école de la nature ». Mais voilà, les spécialistes d'une science des matériaux convertie au biomimétisme se sont vite rendu compte qu'ils pouvaient apporter leur savoir et leur savoir-faire au programme des nanosciences et des nanotechnologies... et qu'ils bénéficieraient en retour des moyens financiers considérables qui affluent dans cette nouvelle « bulle technologique ». Fidèle à ta décision de focaliser ta

réflexion philosophique sur la science en train de se faire, il te faut donc aborder cette nouvelle construction programmatique et ce nouveau domaine interdisciplinaire, au croisement de la science et de l'ingénierie.

Mais la science des matériaux n'est pas la seule à se trouver attirée dans l'orbite de la bulle nanotechnologique. Depuis peu, cette dernière se trouve à son tour attirée dans un programme plus vaste, plus ambitieux, plus porteur d'avenir radieux pour ses promoteurs, plus inquiétant encore pour ses détracteurs : la convergence des nanotechnologies, des biotechnologies, des technologies de l'information et des sciences cognitives, le programme NBIC<sup>1</sup>. Dès lors, il n'est plus possible de réfléchir sur les nanotechnologies sans prendre en compte ce programme NBIC qui concentre espoirs, craintes et crédits.

Lorsque l'on se trouve ainsi contraint d'embrasser des investigations relevant de disciplines différentes et de technologies multiples, d'étudier un nombre croissant de laboratoires, en France comme aux États-Unis ; lorsque l'on doit s'interroger sur ce qui unifie, après la science des matériaux, des nanotechnologies qui ne sont définies que par une échelle ( $10^{-9}$ ) ; lorsqu'il convient en outre de dégager les présupposés du programme de convergence NBIC, il n'est pas inutile de faire une pause et de faire le point. C'est cette pause que nous avons voulu t'offrir et c'est cette synthèse – nécessairement provisoire – que nous t'avons demandé de faire.

---

<sup>1</sup> « NBIC » désigne la convergence entre nanotechnologies (N), biotechnologies (B), technologies de l'information (I) et sciences cognitives (C). L'expression vient d'une « initiative » de la National Science Foundation aux États-Unis (2002), nommée « *Converging technologies* » (technologies convergentes). Il s'agissait tout autant d'un constat (ces technologies sont en train de converger au sein de programmes de recherche) que d'une volonté d'accélérer ce processus. Toutefois ces technologies convergentes sont une source d'inquiétude car elles engendrent risques et incertitudes quant à leur impact sur la santé et sur la société. En 2004, la direction de la Santé de la Commission européenne a chargé un groupe d'experts de réfléchir sur ce problème. Le rapport est disponible en ligne : <http://europa.eu.int/comm/health/ph-risk/events-risk-en.htm>

À cette demande, il y avait deux raisons. La première est que, pour mieux situer leurs propres travaux dans le contexte scientifique actuel, il est souhaitable que les agents de l'INRA s'interrogent sur la dynamique d'autres domaines techno-scientifiques. La seconde est que, sans être devin, on peut avancer qu'il est peu probable que les recherches biologiques de l'institut puissent rester à l'écart des nanotechnologies (que ce soit pour les utiliser ou pour en évaluer les impacts environnementaux). La bulle des biotechnologies manifeste des signes de faiblesse. Et l'incitation à s'inscrire dans la nouvelle bulle NBIC sera d'autant plus forte que chercheurs et unités de recherche auront à cœur de tenir leur rang dans la compétition internationale et que les moyens financiers afflueront. Aussi, tout en enrichissant notre connaissance de la science contemporaine, ton exposé nous permettra-t-il d'anticiper une réflexion sur ce qui va, un jour ou l'autre (et peut-être plus vite que nous ne serions tentés de le croire), devenir le contexte de nos projets, un contexte scientifique, économique, militaire, politique et idéologique, qui offre autant de contraintes que d'opportunités au développement de nos recherches.

Raphaël Larrère  
Directeur de recherche INRA





## **Se libérer de la matière ?**

### **Fantasmes autour des nouvelles technologies**

On distinguait autrefois les civilisations d'après la nature du matériau qui prévalait : âge de pierre, âge du bronze, âge du fer, etc. Ces expressions, consacrées par les archéologues depuis le XIX<sup>e</sup> siècle, suggèrent que la relation à la matière est un des paramètres qui définissent une civilisation. « *Matter matters* », diraient les Anglais. Mais qu'en est-il en ce début de XXI<sup>e</sup> siècle ? On parle depuis peu d'un « âge de l'information » ou d'une « société de la connaissance ». Cela signifierait-il que la matière ne compte plus pour nous ? Que le progrès des techniques est tel qu'il nous dégage des entraves de la matière et nous achemine vers une civilisation de plus en plus spirituelle ? Certains, en effet, n'hésitent pas à proclamer « la fin de l'âge des matériaux ».

La notion de dématérialisation a fait son entrée dans le vocabulaire des technologues à la fin des années quatre-vingt pour désigner la diminution de la quantité de matière utilisée dans la production des biens d'usage et de consommation. Ce thème se décline sur plusieurs modes.

D'un côté, les économistes et analystes des technologies démontrent avec force données chiffrées que l'on consomme de moins en moins de matière pour la production industrielle. Il a fallu 7000 tonnes d'acier pour construire la Tour Eiffel ; 2000 tonnes suffiraient aujourd'hui, étant donné la qualité des aciers actuels. Il faut de moins en moins de matière pour obtenir de plus en plus de performances. La dématérialisation est présentée comme un fait établi, une tendance forte qui se dégage de l'évolution des techniques et indique le sens du progrès.

D'un autre côté, l'écologie industrielle considère la dématérialisation non comme un fait mais comme un impératif destiné à concrétiser le projet de développement durable. Si l'objectif

est que la satisfaction des besoins des générations actuelles ne nuise pas à celle des générations futures, alors il faut, de toute urgence, réduire les flux de matière nécessaires au fonctionnement de l'économie. C'est l'un des aspects du fameux concept d'« empreinte écologique » utilisé par la World Commission on Environment and Development pour évaluer l'impact environnemental de l'espèce humaine et de ses besoins toujours accrus en eau, en nourriture, en énergie, en matières premières.

Enfin, les investissements récents des grandes puissances (Japon, États-Unis, Europe, Chine et Corée) dans les nanotechnologies suggèrent que la dématérialisation est devenue un programme mobilisateur. Dans la mesure où ces techniques n'ont pas de territoire assigné mais constituent une approche nouvelle applicable à tous les secteurs, c'est bien l'ensemble des productions qui ira bientôt dans le sens d'une moindre consommation de matière.

La dématérialisation se trouve donc au carrefour de trois types de discours : l'un descriptif, l'autre prescriptif, le troisième programmatique. Cette convergence produit un effet de renforcement mutuel, qui assure au thème de la dématérialisation une présence forte dans les politiques de R&D depuis une quinzaine d'années. On peut toutefois se demander si l'on vise la même chose à travers la dématérialisation comme fait, la dématérialisation comme norme et la dématérialisation comme conséquence du traitement de la matière à l'échelle du nanomètre. De quoi s'agit-il au juste ? D'une remise en question de la société de consommation et de l'équivalence entre niveau de consommation et niveau de civilisation ? D'un triomphe de l'esprit sur la matière ? D'une émancipation à l'égard des contraintes que nous impose la nature ?

Je propose donc d'analyser ces trois types de discours en tentant de dégager la part des effets rhétoriques et des illusions qu'ils suscitent. Pour chacun d'eux je déploierai deux types d'approche : d'abord une analyse épistémologique visant à repérer les concepts sur lesquels ils s'appuient, les raisonnements

qu'ils mobilisent, puis une analyse anthropologique visant à dégager les modèles sous-jacents de pensée de la technique. Pour finir, je montrerai que moins consommer de matière ne signifie pas du tout se libérer de la matière, mais témoigne au contraire d'un nouveau regard sur la matière et d'un souci des singularités matérielles.

## **La dématérialisation comme tendance technologique**

La diminution de consommation de matière est un « fait » enregistré par les théoriciens de l'économie dès les années quatre-vingt. Après avoir atteint un maximum dans les années vingt, la part de l'acier dans l'économie américaine est revenue dans les années quatre-vingt au niveau d'il y a 100 ans, c'est-à-dire 40 % du maximum. D'après Marc Giget « le Japon consomme en masse, en 1984, 47 % moins d'acier qu'en 1973, 18 % moins d'aluminium et 8 % moins de plastique. Tous les autres grands métaux sont en régression, cuivre, zinc, plomb ».<sup>2</sup> Cette diminution concerne non seulement les métaux mais des matériaux de commodité (comme le ciment ou le verre). D'ailleurs nous en faisons tous les jours l'expérience. Nos raquettes de tennis, nos vêtements, nos casseroles sont plus légers tout en étant plus performants qu'ils ne l'étaient jadis.

### ***Le statut de la notion de dématérialisation***

#### *Une notion intuitive*

Elle est sensible dans notre vie quotidienne. Le thème de la dématérialisation mélange les genres scientifique et populaire. L'un des tout premiers articles qui établit ce « fait » paraît dans un journal populaire, le *Scientific American*, sous le titre accrocheur *Beyond the Era of Materials* en 1986 avant d'être repris dans des publications plus académiques.<sup>3</sup> Si je souligne dès l'abord le statut hybride – mi-scientifique mi-populaire – de

---

<sup>2</sup> Giget M., 1990.

<sup>3</sup> Larson E., Ross M., Williams R., 1986.

cette notion, ce n'est pas pour dénoncer une contamination de la science par les médias qui feraient du sensationnalisme avec des données appelant une interprétation délicate, mais plutôt pour montrer que ce thème traverse toutes les frontières : entre science et non-science, entre sciences de la nature et sciences sociales.

La dématérialisation est alors associée au développement des technologies de l'information. D'une part, celles-ci donnent le spectacle d'une miniaturisation spectaculaire des objets techniques, qui sont, de plus, capables d'assumer de multiples fonctions (téléphone portable et appareil photo, par exemple). D'autre part, elles permettent de créer des réseaux à distance et, de ce fait, épargnent de coûteux déplacements de matière (transports, voyages, courriers postaux) grâce au télétravail, la téléconférence, etc. Enfin et surtout, l'informatique autorise un meilleur contrôle de la conception et de la production (CAO, conception assistée par ordinateur) et permet, de ce fait, de limiter les pertes, de produire plus avec moins d'intrants.

#### *Une notion géopolitique*

Dans le vocabulaire des concepteurs en industries, la dématérialisation devient un thème porteur, face à la crise pétrolière des années soixante-dix. En particulier dans l'industrie automobile et aéronautique, l'allègement est un objectif, voire une obsession, qui oriente les efforts de R&D. L'enjeu était de s'affranchir de la dépendance à l'égard des pays producteurs de matières premières, en particulier des pays du Moyen-Orient détenteurs des ressources pétrolières. La dimension géopolitique du thème de la dématérialisation est comme le moteur qui accélère l'histoire.

#### *Une main invisible*

Les théoriciens de l'économie traitent les données chiffrées comme des indicateurs de tendance. Le terme tendance est à prendre au sens presque banal d'une impulsion qui orienterait la marche des innovations techniques, ou même comme une raison

puissante qui guiderait le cours des choses.<sup>4</sup> La dématérialisation est, en effet, présentée comme une sorte de « main invisible » qui tirerait les ficelles des techniques.

Par exemple, pour A.J.M. Roobeek cette tendance définit ce qu'elle appelle la fin de l'ère fordiste de l'économie : « La caractéristique des innovations dans les nouvelles technologies est qu'elles contribuent à économiser de l'énergie, du matériel et de l'emploi en conséquence de la tendance à la miniaturisation et à la dématérialisation. Ce dernier terme est utilisé pour décrire la tendance à produire plus d'objets de grande qualité avec moins de matière première et des chaînes de production plus courtes. En même temps, un meilleur contrôle des technologies comme du management permet d'améliorer la qualité des produits qui peuvent être produits de manière plus compacte (usines plus petites, peu de fournisseurs) et plus flexible (dans le temps, comme dans l'espace). On pourrait dire que la miniaturisation et la dématérialisation sont des impératifs pour les innovations technologiques contemporaines.<sup>5</sup> »

Ce passage livre deux informations intéressantes pour notre propos.

D'une part, la dématérialisation, étroitement reliée à la miniaturisation et à la progression inexorable de la société d'information, se voit attribuer un statut analogue à celui de la fameuse loi de Moore. Gordon E. Moore, co-fondateur de la société Intel, constatant que le nombre de transistors contenu dans un circuit intégré avait doublé tous les 5-6 ans depuis 1959, annonce en 1965 et 1971 que la puissance des composants

---

<sup>4</sup> On arriverait sans doute à d'autres types d'analyse en prenant ce terme au sens « technologique » que lui donne André Leroi-Gourhan dans sa tentative de classification des outils selon des critères technologiques. La tendance apparaît alors comme une sorte de schème taxonomique, un opérateur logique et non une causalité finale qui opère au cours de l'histoire (voir Guchet X., 2000 et 2005 à paraître).

<sup>5</sup> Roobeek A., 1987.

doublerait, à taille égale, tous les 18 mois. Cette loi permet ainsi aux apôtres de l'ère nouvelle de métamorphoser un possible en futur nécessaire, inévitable. Il s'ensuit que s'efface la dualité entre descriptif et prescriptif, ou normatif. La dématérialisation s'impose comme une pseudo-loi et l'article de Roobeek glisse sans problème de l'énoncé d'une « caractéristique » à celui d'un « impératif ».

D'autre part, « moins de matière première physique » inclut non seulement la quantité de matière mais aussi l'énergie nécessaire au traitement des matières premières. Énergie et matière, les deux ressources naturelles, ont un destin étroitement lié. Il s'agit d'utiliser moins de matière mais aussi de dépenser moins d'énergie dans les procédés de réduction des métaux ou dans la synthèse des produits chimiques. Par exemple, si l'aluminium s'est répandu, c'est parce qu'il est plus léger que l'acier. Mais sa production exige beaucoup d'électricité (chaque augmentation d'un centime dans le prix du kw/h provoque une augmentation de 10% dans le prix de production de l'aluminium). On doit donc intégrer dans les calculs non seulement la quantité de matière (poids) consommée mais aussi l'énergie liée à la production des matériaux.

### ***Les raisons d'un tel engouement***

Pour comprendre cette tendance, retournons à l'article « séminal » de 1986 qui annonce la fin de l'âge des matériaux. L'étude porte sur sept classes de matériaux – acier, ciment, papier, aluminium, ammoniac, chlore, éthylène (fig. 1). Elle mesure la consommation de matériaux en nombre de kilogrammes par habitant et nombre de kilogrammes par rapport à un dollar de produit national brut (PNB).

Deux de ces matériaux (ciment et papier) sont traditionnels mais l'aluminium ou l'éthylène, eux, sont caractéristiques du XX<sup>e</sup> siècle. Dans les deux cas, on observe un déclin de la consommation (en dollar PNB par habitant) à partir de 1970 bien que ce déclin ait commencé auparavant pour ce qui est des