



TECHNOLOGIE, ÉCONOMIE ET SOCIÉTÉ

Apprivoiser les technologies combinatoires

L'appropriation du progrès technique par la société est rarement instantanée et il a toujours fallu du temps pour passer du laboratoire ou de l'atelier à l'usage courant. Plus encore pour d'importantes innovations des dernières décennies, car leur portée ne se limite pas à un usage direct ou individuel : elles affectent l'organisation sociale (qui n'est pas toujours hyper réactive) ou même mettent en cause nos références conceptuelles et nos façons de penser (qui ont parfois du mal à quitter leurs routines). Le foisonnement d'innovations est devenu tel qu'on a souvent du mal à prendre du recul pour leur donner du sens. Or c'est nécessaire pour changer la perspective, sans quoi l'on envisagerait certaines mutations en cours comme si l'on abordait les développements des télécommunications (internet, mobiles, multi-média...) en fonction des caractéristiques (techniques et réseau, mais aussi services et concurrence) des PTT de 1950.



L'accélération de l'évolution technique est caractéristique de la société industrielle, dont elle fonde l'idéologie du progrès technique et du changement social. Aujourd'hui, l'accélération de cette accélération incite à s'interroger sur d'éventuels changements des bases matérielles de l'activité. De tels changements s'analysent à partir de facteurs comme la maîtrise d'une technique, l'émergence d'une énergie devenant dominante, la découverte de nouvelles sortes de matières premières ou l'avènement de certains biens semi-finis : on dira ainsi que la première Révolution industrielle est celle de la machine à vapeur, du charbon et de l'acier, la seconde celle de l'automobile, du pétrole et de l'industrie chimique. Peut-on qualifier ainsi la société postindustrielle ? Il n'y a pas une technique dominante mais plusieurs, des dérivés de l'électronique aux biotechnologies, pour

retenir les plus citées ; on sait que l'énergie de l'an 2000 ne sera ni le charbon, ni le nucléaire, ni le solaire, ni la biomasse, mais une combinaison de tout ça ; de même pour les matières premières et les biens semi-finis.

☉ Une troisième Révolution industrielle ?

Pour comprendre notre époque à partir de ses bases matérielles, prenons le premier facteur : peut-on identifier une nouvelle vague technique après les deux de la Révolution industrielle, y a-t-il un critère qui montre continuité ou rupture entre celles-ci et celle-là ? Vide de sens, la notion de "technologies de pointe" n'est d'aucune utilité. D'abord, où commence et où s'arrête la pointe ? Ensuite, l'ensemble est hétérogène : électronique et dérivés, techniques spatiales ou sous-marines, biotechnologies, pour

Cet article est la contraction d'un texte rédigé en 1982 pour le programme CEE-FAST (Mouvements économiques de long terme et politique de l'innovation, JP Quentin). Il n'a pas pris une ride : conçu à l'époque pour éclairer des choix de politique scientifique et technologique à moyen et long termes, il peut aujourd'hui encore donner des repères à chacun en situant la nature et la portée d'évolutions qui s'amorçaient alors et se sont confirmées depuis, mais dont on est loin d'avoir tiré tous les enseignements pratiques - notamment quand on continue à décoder aujourd'hui avec des clés d'hier, en s'étonnant qu'elles ne marchent pas (cf. notamment Technologies Internationales n° 102, 103, 106).

Technologie

Le mot désigne "l'étude des techniques, des outils, des machines, des matériaux" (Robert). On préférera reprendre le sens du *technology* anglo-saxon, qui relie la science et les techniques. Dans le passé, elles n'ont pas évolué ensemble. Jusqu'à la 1^{re} Révolution industrielle, sauf en de rares cas, les techniques ont précédé la science, celle-ci venant plus tardivement formaliser ces avancées dans des théories : il n'était pas nécessaire de connaître la composition ou même l'existence d'une molécule d'eau pour inventer et fabriquer la machine à vapeur. Progressivement, la science s'est insérée dans le processus d'innovation technique, souvent en amont -c'est ce qui caractérise la 2^e Révolution industrielle : le développement industriel de l'électricité aurait été impossible sans l'apport de physiciens comme Maxwell. Aujourd'hui science et technique peuvent être associées dans un faisceau de relations tel qu'un vocable est devenu nécessaire pour désigner leur fusion : que les "puristes" qui récusent cet emploi de "technologie" proposent mieux ! On distinguera donc l'ensemble "technique" (plus général) et son sous-ensemble "technologie", qui désigne **une technique qui incorpore des connaissances scientifiques**.

fusion thermonucléaire... Prévert détaillerait l'inventaire, il resterait difficile de dégager un critère commun. Par ailleurs, on dit que leur originalité est de modifier plutôt les procédés que les produits -alors, ni le vidéodisque à laser, ni la navette spatiale ne sont des technologies de pointe ?

Un critère majeur de la première Révolution industrielle est l'intervention massive d'innovations traditionnelles (sans fondement scientifique) ayant donné lieu à d'importantes applications industrielles. Le critère de la deuxième est l'apparition du progrès scientifique "en amont" de ce processus (voir encadré). La vague actuelle représente un saut tel qu'on peut parler de mutation (changement d'état) de la société plutôt que d'une simple troisième Révolution industrielle qui ne ferait que prolonger les précédentes, à dominante scientifique et technique. Car technologie et société interagissent à la fois en amont, en cours et en aval du processus invention-innovation-applications et en changeant la nature, bouclant le système par une

implication de l'organisation sociale beaucoup plus forte qu'auparavant. Cette génération diffère radicalement des précédentes par des particularités de mise en œuvre et des possibilités d'applications incroyablement ouvertes. D'où le qualificatif de "combinatoires" pour ces technologies issues de trois familles :

- **les nouvelles technologies de l'information** (NTI), consistant à traiter ou transmettre des informations alphanumériques : l'électronique avec ses compléments (laser, fibres optiques ou automatismes) et ses dérivés (informatique, bureautique, robotique, télématique, vidéo-disque...) -on ne les présente plus...
- **les nouvelles biotechnologies**, nouvelles au sens où elles reposent sur les récents progrès en biologie cellulaire, génétique, enzymologie ou recombinaison de l'ADN, par opposition aux biotechniques utilisées dans des processus industriels ou agricoles plus classiques (voir <http://www.algoric.com/ti/107.htm>),
- **les nouveaux matériaux**, identifiés d'un point de vue fonctionnel plutôt que catégoriel, car on les choisit ou élabore en fonction de qualités qu'on en attend plutôt que de leurs propres spécificités (voir encadré).

📌 Des technologies altruistes

Ces technologies sont combinatoires par essence et leurs composants sont peu susceptibles d'applications directes significatives sans combinaisons : les nouveaux matériaux résultent de multiples formes d'associations de matériaux ; les biotechnologies sont par nature ouvrées de façon systémique ; de même, tout élément des NTI est voué à être relié à d'autres, chaque connexion ayant pour effet de démultiplier encore ses possibilités. Ces technologies sont donc intrinsèquement combi-



Des matériaux "dématérialisés"

Le paradoxe n'est qu'apparent : les matériaux se dématérialisent. Car leur conception et leur mise en œuvre font de plus en plus appel à la **matière grise** : calculs théoriques pour leur élaboration et leur choix ; utilisation dans la masse des matériaux moins coûteux, car moins alliés, dont la moindre performance est compensée par une combinaison avec des traitements de surface ou placages plus sophistiqués, conférant des propriétés particulières aux zones les plus sollicitées...

Autre trait commun aux technologies combinatoires, leur capacité **d'adaptation à l'utilisateur** et à ses besoins spécifiques : on se libère des contraintes qu'imposaient les matériaux naturels (bois, pierre...) ou élaborés "classiques" (métaux, plastiques...).

Un rapide tour d'horizon fait apparaître qu'il s'agit même de **technologies à part entière**.

Les matériaux métalliques, les moins affectés par ces tendances, n'y échappent pas : changements de matière plus fréquents, évolution d'éléments d'alliage, technologies de mise en forme, d'usinage ou d'assemblage énergétiquement plus rentables ou automatisables - avec l'adaptation corollaire des règles de conception et de gestion.

Pour les plastiques, la tendance est plus nette. Fini le temps où ils étaient vus comme des ersatz. Déjà, pour des productions de pointe (aéronautique, espace) ou des développements en laboratoire, les résines ont des performances étonnantes de résistance mécanique ou de tenue aux températures. Cette tendance est liée à d'autres évolutions provenant de la chimie (mise au

point de nouveaux plastiques) ou de l'association avec d'autres types de matériaux - carbone-carbone et autres composites.

Pour certains composites, la tendance à la dématérialisation est flagrante. Après avoir désigné des formules diverses -béton armé, bois lamellé, cuir artificiel...- le terme tend à être réservé aux matériaux constitués d'une armature filamenteuse résistante, maintenue en forme par un liant organique -domaine qui s'étend des applications de fibres de verre dispersées aux structures à hautes performances armées de filaments de bore, de carbone, qui concurrencent la tenue mécanique des métaux.

Bien d'autres matériaux améliorent leurs performances et diversifient leurs applications. Certains, dont l'usage était très spécialisé, connaissent un développement fulgurant de leurs utilisations -comme le graphite, qui concurrence des matériaux plus nobles : bon conducteur thermique et électrique, inerte à la plupart des agents chimiques, facile d'emploi, bon marché. Sans oublier les céramiques ou les terres rares : il n'y aurait ni Airbus sans titane, ni centrales nucléaires sans uranium enrichi ou plutonium, ni électronique sans silicium, en attendant l'arsenure de gallium...

Enfin, ce contrôle des matériaux sur d'autres techniques ne se limite pas au *high-tech*. Il se manifeste notamment dans ce qui rationalise les usages de l'énergie ou des matières premières ; il se confirme aussi dans des secteurs classiques (métallurgie, mécanique, textile), pour contribuer au renouveau de leur compétitivité. ■

natoires. Elles le sont aussi extrinsèquement : "altruistes", elles permettent d'envisager sans limites tous développements et applications, en processus cumulatifs.

Les combinaisons s'effectuent d'abord entre ces trois familles. Les développements de l'électronique dépendent de nouveaux matériaux (du silicium pour les microprocesseurs au gadolinium pour les mémoires à bulle) et réciproquement (il faut des ordinateurs pour élaborer et utiliser des matériaux complexes). Les expérimentations et applications des biotechnologies recourent largement à l'informatique et à des appareillages sophistiqués à base de nouveaux matériaux. Les pro-

thèses implantables ont fait des progrès fulgurants depuis qu'elles combinent les ressources des trois familles. Biotique, bio-informatique... on recenserait sans fin les croisements en cours ou prévus.

Les combinaisons se font aussi avec des technologies traditionnelles, leur donnant une nouvelle dimension. Les biotechnologies bouleverseront l'agro-alimentaire, la chimie ou l'énergie comme les NTI ont bouleversé presque tous les secteurs - et ce n'est qu'un début. Une meilleure maîtrise des matériaux fera évoluer métallurgie, mécanique, verre, céramique, caoutchouc, chimie fine... affectant transports et habitat, machines-outils et



instrumentation, objets de la vie courante... Elle aidera à rénover des secteurs où la recherche est faible -emballage, ameublement, textiles, industries du bois et du papier, peintures et détergents...

📍 Des instruments au sens élevé

La non-perception de cet aspect extrinsèquement combinatoire est à l'origine du flou de la notion de "technologies de pointe" : on y met énergies nouvelles, technologies de l'espace, des océans et autres, alors qu'il s'agit d'applications de ces nouvelles combinatoires. La biomasse résulte de composés permis par les biotechnologies ; la conquête spatiale ou l'exploitation des océans découlent d'associations entre électronique, nouveaux matériaux et technologies classiques. Et nos processus cumulatifs se prolongent : une retombée de la conquête spatiale sera la métallurgie dans l'espace, permettant de fabriquer en apesanteur des matériaux qui ne pourraient l'être sur terre, ou seulement à des coûts prohibitifs...

Ces technologies se démarquent donc des précédentes générations par bien des aspects, dont une forte dématérialisation, une extrême complexité et une aptitude à répondre à des aspirations qualitatives et multiformes plus qu'à de simples besoins quantitatifs et spécialisés. Parmi les traductions : contrairement aux *énergivores* qui précédaient, elles valorisent les ressources naturelles ou autres, ce qui en fait des leviers du développement durable. Plus fondamental encore, étant composées avant tout d'information (matière grise), elles relèvent d'une logique qui n'est plus celle, basique, des biens simplement matériels. Si je cède un bien, je ne l'ai plus ; je peux transférer de l'information tout en la conservant : les ressorts élé-

mentaires ne sont plus du tout les mêmes.

Ceci mériterait d'amples développements, mais un préalable était précisément de poser "à l'endroit" les bases du débat, dont celle-ci : ne pas se laisser abuser par les désordres de "technologies de pointe" mal comprises, conduisant à redouter leur foisonnement. Car au contraire l'identification de cette génération permet d'y voir un *instrument* au sens élevé : "l'invention adroite, ingénieuse, dont les arts les plus relevés se servent pour faire des opérations d'un ordre supérieur" (Bailly). Complexes en elles-mêmes, ces technologies contribuent à accroître la complexité du système économique et social, mais aussi aident à la maîtriser. Et la masse d'information et d'organisation qui y correspond modifie la nature de leurs possibilités d'applications.

Intimement liées à l'organisation sociale, elles l'affectent au point de récuser des schémas solidement ancrés. Par exemple la loi des économies d'échelle, puisque les petites séries deviennent rentables. Ou celle des rendements décroissants de la technologie, clairement démentie par le renouveau de l'industrie automobile grâce aux NTI et matériaux. Ayant l'instrument, il ne nous manque qu'un *aggiornamento* culturel pour en posséder le mode d'emploi.

Les conséquences en seront tirées dans des articles à paraître dans *Technologies Internationales*.

Jean-Pierre Quentin ●



Pour en savoir plus... :

Centres de compétences :
algoric, cabinet de formation,
conseil, études et coaching.
www.algoric.com,
info@algoric.com,
tél. : 05 46 56 77 10

Jean-Pierre Quentin, Docteur en Droit, directeur général d'algoric, est professeur et consultant en stratégie, management et communication, jp.quentin@algoric.com