

Nouvelles technologies : défi ou espoir ?

Une révolution cybernétique

Tout au long des siècles, des découvertes fondamentales et des bonds technologiques ont abouti à des évolutions progressives des conditions d'existence de générations successives. Au cours des dernières années, l'innovation découlant très rapidement des développements scientifiques et technologiques, a radicalement transformé la société dans laquelle nous vivons.

Les treuils, cabestans et autres leviers ont permis de décupler les forces exercées par l'homme sans pour autant accroître sa puissance. Les usages de ces machines dites simples se sont développés pendant des millénaires. Archimède s'est penché sur les propriétés du levier et, avant lui, il ne fait nul doute que leurs principes n'aient été utilisés pour l'édification des pyramides. Substituer la force de la machine à celle de l'homme ou des animaux constituait une étape fondamentale dans l'histoire de la technologie, fondamentale mais progressive dans la durée.

« Révolution industrielle » est le terme utilisé par les historiens pour désigner une période qui, commencée en Angleterre dans la seconde moitié du XVIII^e siècle, a complètement transformé le labeur et par suite la société. L'invention de la machine à vapeur par James Watt en 1783 a permis d'entrer dans l'ère industrielle en mettant la puissance thermique au service des uns tout en asservissant les autres ! Substituer la puissance de la machine à celle de l'homme ou des animaux constitue une nouvelle étape fondamentale. Les bouleversements sociaux et les conséquences historiques qui en ont découlé furent considérables. L'apparition d'un nouveau prolétariat voire d'un « lumpen prolétariat », la condition des hommes, femmes et enfants dans les usines, au fond des mines, l'univers décrit par Zola sont imbriqués dans cette « révolution » tout comme la terreur est imbriquée dans la Révolution française. Deux siècles après, notre confort dans une démocratie est pourtant dû aux retombées de

ces deux révolutions dont les bilans peuvent être considérés comme globalement positifs. Aurait-on pu éviter les errements et crimes qu'elles ont enfantés? C'est aux historiens de conclure. Il nous appartient d'en retenir les leçons.

L'homme a délégué à la machine d'abord sa force ensuite sa puissance. À la fin du xx^e siècle survient une « *révolution cybernétique* ». Le développement de la technologie des semi-conducteurs a permis celui de l'informatique et des nouvelles technologies de la communication. Peu à peu, le contrôle des machines, jusque-là exclusivement réservé aux cerveaux humains, est pris en charge par des ordinateurs dont la puissance s'accroît exponentiellement suivant la loi de Moore¹.

Au cours d'une intervention à la BBC, Gordon Moore, aujourd'hui âgé de 77 ans et président émérite d'Intel, précisait qu'en constatant le doublement régulier des transistors sur une puce électronique, il ne faisait qu'énoncer un état de fait. Pourtant, cette « loi » de Moore, est devenue au cours des années une règle à suivre pour les industriels dans leur recherche d'équipements de plus en plus performants à des coûts de plus en plus bas. Il s'agit là de ce que les Anglais nomment une « *self fulfilling prophecy* » (prophétie auto-réalisatrice).

Trois révolutions successives ont donc libéré l'homme mais en le rendant dépendant de nouvelles technologies devenant rapidement indispensables. Nous devons prendre acte des durées décroissantes de ces révolutions.

Technologie et société

“*Firms tag workers to improve efficiency*”².

Il ne s'agit pas d'une fiction de Georges Orwell mais de la réalité telle qu'elle est présentée dans un article de *The Guardian Weekly* paru le 10 juin 2005. Il n'est encore question que d'améliorer la logistique dans les entrepôts, mais d'autres dispositifs sont à l'étude pour contrôler l'efficacité des employés à tous les niveaux : mesurer, par exemple, la cadence des frappes dactylographiques!

1. Selon la loi de Moore (<<http://www.intel.com/technology/mooreslaw/>>), énoncée en 1965 avant le développement fulgurant de la microélectronique dû, entre autres, à la technologie MOS (métal-oxyde-semiconducteur), le nombre de transistors intégrés dans une puce doublait tous les ans. En 1975, Moore a revu les perspectives de sa loi et prédit un doublement tous les deux ans. La puissance des ordinateurs double donc tous les deux ans. Dans la mesure où l'électronique et l'informatique sont aujourd'hui au cœur de la plupart des développements technologiques cette croissance exponentielle s'applique à de nombreux secteurs industriels.

2. = « Des entreprises marquent leurs employés pour accroître le rendement ».

Hitler était sans doute plus à même d'entreprendre un génocide que ses prédécesseurs en barbarie. Sa technologie était plus avancée et donc son action plus efficace. Selon Hannah Arendt, le totalitarisme s'efforce de contrôler la société et plus généralement tous les individus dans tous les aspects de leur vie. Les nouvelles technologies risquent d'offrir aux tyrans de demain les moyens techniques de leurs ambitions.

Il faut très peu de temps pour bouleverser les usages de la société et la métamorphoser en introduisant de nouvelles technologies considérées dès leur apparition comme absolument indispensables pour une vie « décente » et « dans le vent » : téléphones mobiles, Internet, ADSL, Wi-Fi... L'homme et la société peuvent-ils s'adapter harmonieusement à de tels bouleversements? Bien entendu, « où il y a de la vie, il y a de l'espoir³ ». Une telle adaptation doit et donc peut être possible. Une réflexion élaborée est engagée en ce sens pour définir les bases d'une évolution harmonieuse et indispensable. Les évolutions sociologiques et morales ne progressent pas au rythme de la loi de Moore!

Une réflexion de la sorte demande impérativement la création d'une structure de la société civile qui puisse apprécier les travaux proposés en termes d'éthique. Les scientifiques mettent au point de nouvelles technologies, mais leur usage est essentiellement politique dans la mesure où il concerne l'ensemble de la société. Dans une démocratie, la politique n'est pas l'apanage des initiés, elle concerne tous les citoyens. Il en est de même de l'usage des technologies, qu'elles soient nouvelles ou non. Il ne faut pas confondre le « politique » et le « politicien ». Le politique est l'émanation du peuple qui doit décider du bon usage des moyens dont la Nation dispose. Le « politicien » utilise des méthodes démagogiques pour orienter les frayeurs émanant des découvertes scientifiques : le nucléaire ou les biotechnologies nous en fournissent des exemples.

La science pour tous

Tout en admettant que la complexité supposée des sciences dites dures est l'apanage de ceux qu'elle dénomme « savants », la société affiche une attitude de plus en plus en plus sceptique face aux développements technologiques dont elle apprécie pourtant quotidiennement les retombées. On affiche beaucoup de méfiance envers ces « grands prêtres » d'une nouvelle religion (les technocrates) qui prétendraient soumettre chacun de nous à leurs lois tyranniques imposant pollution, mondialisation, dégradation de l'environnement et organismes génétiquement modifiés (OGM)! (« pour le plus grand profit des multinationales », bien entendu!). Simultanément, les faux prophètes, ces démagogues qui,

3. CERVANTÉS Miguel, *L'Ingénieux bidalgo Don Quichotte de la Manche*, Le Seuil, « Points », 2001.

semblables en cela aux « gens de qualité », savent tout sans l'avoir appris et n'hésitent pas à disserter avec assurance des questions scientifiques du moment ou à les inscrire en leurs programmes électoraux. Bien entendu, le scientifique, honnête homme dans son siècle, demeure conscient des abysses de sa propre ignorance !

La principale crainte réside dans l'essence même de la révolution cybernétique : la peur justifiée de perdre le contrôle de son destin et l'implacable efficacité du machinisme industriel. Les scientifiques et techniciens en charge des nouvelles technologies doivent être au service de la société tout entière qui, à juste titre, est en droit de se sentir suffisamment informée et consultée pour leur faire confiance. Si les développements technologiques sont laissés à ceux qui ont vocation à les assumer, les conclusions et les grandes idées doivent être à la portée du plus grand nombre. Les représentants de la Nation sont alors à même de formuler des choix éclairés. La science n'est pas plus réservée au seul savant que le bon pain ne l'est au seul boulanger. C'est pourtant ce dernier qui assure la qualité en mettant la main à la pâte⁴.

Les ouvrages de vulgarisation, les programmes de radio et de télévision consacrés aux sciences et techniques sont de plus en plus populaires et c'est fondamental. On peut constater que les meilleurs vulgarisateurs sont, comme par hasard, ceux qui maîtrisent le mieux leur domaine scientifique. La vulgarisation comme la diffusion du savoir est une mission incontournable que les chercheurs doivent accepter pour obtenir la confiance du peuple qui les emploie. Plus les métiers se spécialisent, plus il est fondamental pour chaque spécialiste de prendre conscience des responsabilités qu'il doit impérativement assumer vis-à-vis d'un ensemble dont il n'est qu'un élément.

Professeurs et élèves

Jadis, les grands philosophes se contemplaient dans le regard de leurs disciples. Aujourd'hui, le chercheur éprouve le besoin impérieux de partager ses enthousiasmes. L'enseignement supérieur détaché de la recherche est stérile, le chercheur isolé dans une tour d'ivoire, ne dispose pas d'un des ingrédients nécessaires à l'accomplissement de sa tâche. Il est dommage que cette approche ne soit comprise ni dans toutes les grandes écoles qui parfois sont trop éloignées des centres de recherche scientifique et technique ni dans tous les laboratoires des grands organismes de

4. L'opération *La Main à la pâte* a été lancée en 1996, à l'initiative du professeur Georges Charpak et de l'Académie des sciences. Elle vise à promouvoir auprès des enfants une démarche d'investigation scientifique.

recherche où l'enseignement et la diffusion des connaissances ne sont pas toujours considérés comme essentiels.

La transmission des savoirs est asynchrone. Beaucoup de faits présentés par le maître à l'élève sont caducs lorsque ce dernier veut les mettre en application. Les fondamentaux de la pensée scientifique et de la méthodologie doivent être enseignés et illustrés par l'état des sciences et techniques à un moment donné. Une formation tout au long de la vie est indispensable, elle sera d'autant plus efficace qu'elle sera à même de s'appuyer sur des bases solides acquises lors de la formation initiale. L'enseignement reçu à vingt ans doit encore servir trente ans plus tard quels que soient les bouleversements scientifiques et technologiques.

Nous n'avons jamais oublié les bases de physique des solides qui nous ont été prodiguées, voici bientôt un demi-siècle, par de grands maîtres. Parmi ceux-ci, Pierre Aigrain⁵ et Hubert Curien⁶ sont tous deux devenus ministres de la Recherche. Tout au long de leurs brillantes et longues carrières, ils s'efforçaient de distinguer dans leurs enseignements, les bases durables de la démarche scientifique et l'interprétation éphémère des résultats du moment. *A contrario*, rappelons ce cours magistral en Sorbonne qui prédisait alors un avenir brillant au transistor destiné à supplanter les tubes à vide, tout en regrettant ses limitations dues à la technologie de l'époque :

Le temps de relaxation des électrons de valence et des électrons de conduction est trop grand pour que le transistor puisse être utilisé au-dessus de certaines fréquences. Ainsi on pourra construire dans l'avenir des récepteurs radios pour les grandes ondes mais jamais pour les ondes courtes ou la modulation de fréquence.

5. En 1948, Pierre Aigrain est âgé de 24 ans. Il crée alors le laboratoire « semi-conducteurs » au laboratoire de physique de l'École normale supérieure. Il fut, en Europe, l'acteur essentiel d'un bouleversement technologique précurseur de la révolution cybernétique. Le sujet de thèse de Pierre Aigrain était le transistor. Il fut le premier scientifique du monde à suggérer un laser semi-conducteur, ouvrant ainsi la voie de l'optoélectronique. Son laboratoire était un pôle d'excellence reconnu dans le monde entier et les chercheurs américains de Bell Labs faisaient la queue pour lui demander son avis lorsqu'il venait à Murray Hill. Le groupe de recherche de Pierre Aigrain a été l'incubateur de toute l'industrie française des semi-conducteurs. C'est lui qui forme les premiers ingénieurs, qui suscite les percées technologiques : son enthousiasme est communicatif ! Il enseigne !

6. En 1948, Hubert Curien est âgé de 24 ans. Il est cristallographe. En 1951, alors qu'il étudie les développements de la radiocristallographie par rayons X, il est invité au prestigieux Congrès Solvay. Ses travaux dans le domaine de la détermination des structures cristallines et de la théorie des groupes ont marqué plusieurs générations de chercheurs. De 1976 à 1984, Hubert Curien a présidé le Centre national d'études spatiales (CNES) et il a assumé la responsabilité du projet européen Ariane. Hubert Curien avait le besoin impérieux d'enseigner, de communiquer, de partager son immense savoir. Il n'a jamais cessé d'enseigner, même lorsqu'il est devenu ministre de la République. Ses étudiants se souviennent de son extraordinaire talent et de son éloquence qui rendaient des plus agréables des sujets tels que la théorie des groupes, l'analyse tensorielle ou la diffraction des rayons X.

Jusqu'en 1987, j'enseignais à mes étudiants que les seules symétries cristallines possibles étaient d'ordre 2, 3, 4 ou 6. À partir de cette date, je leur ai expliqué que les symétries d'ordre 5, 8... jusque-là interdites, croyait-on, étaient bien présentes dans les quasi-cristaux. La vérité du jour est vouée à être dépassée le lendemain, les principes de base qui permettent d'apprendre tout au long de la vie demeurent.

Le décalage apparent entre le contenu des enseignements et les réalités constatées est d'autant plus important que désormais l'élève dispose de nombreuses sources d'informations en ligne qui complètent où parfois contredisent la connaissance distillée par le maître. Les nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) doivent donc être associées à l'enseignement comme à bien d'autres activités. Le professeur ne doit pas les redouter mais au contraire s'appuyer sur elles pour alléger sa tâche dans ce qu'elle a de plus « mécanique ». Seule la présence humaine pourra faire jaillir l'étincelle qui suscitera le plaisir d'apprendre et d'élaborer de nouvelles idées pour le plus grand bien de tous. En aucun cas les technologies de l'information et de la communication pour l'éducation (TICE) ne sauraient se substituer à l'enseignement magistral. Il s'agit d'un support extraordinaire permettant d'élargir l'illustration des principes formulés par le maître et des possibilités de recherche personnelle. En cela on peut comparer l'invention de ces nouvelles technologies à celle de l'imprimerie en d'autres temps.

Pluridisciplinarité

Nous traversons une période de grands bouleversements technologiques et nous voudrions que cette période soit une nouvelle renaissance permettant de déboucher sur un nouvel ordre plus harmonieux. La spécialisation poussée rend indispensable une coexistence entre les spécialistes de différentes disciplines qui doivent apprendre à mieux se connaître, vivre ensemble pour élaborer des projets communs transversaux, par essence pluridisciplinaires. Un environnement approprié permet de développer de nouvelles thématiques favorisant les synergies entre les études en sciences humaines et sociales et la recherche et développements technologiques.

La coopération entre spécialistes est favorisée par des contacts humains. Lorsqu'on se retrouve de manière conviviale, lorsqu'on se rencontre devant la machine à café ou la photocopieuse, on échange des idées et l'isolement disciplinaire préconisé par certains penseurs du XIX^e siècle est heureusement brisé. Les rencontres sont enrichissantes lorsque le physicien croise le biologiste, le chimiste, le mathématicien.

Elles conduisent à des échanges inédits et encore plus fructueux si les spécialistes des sciences dites « dures » communiquent avec les juristes, économistes, psychologues, sociologues, et autres humanistes⁷. L'univers de la connaissance doit être unifié. Il faut faire disparaître les barrières artificiellement érigées entre les disciplines.

Les grandes entreprises étudient l'impact de leurs nouveaux produits sur les consommateurs potentiels. Il appartient aux pouvoirs publics de prévoir les conséquences humaines et sociales de ces nouvelles technologies. Une illustration de ce principe a été donnée au sein du groupe de réflexion qui a proposé le pôle de compétitivité « Images et Réseaux ». Le développement de la filière TIC s'est parfois heurté au décalage existant entre les potentialités des innovations et ce que les sociologues ont appelé « l'appropriation sociotechnique ». Il s'agit là des conditions d'adéquation entre une innovation et un usage⁸. L'ensemble de ces synergies avec le secteur des entreprises souligne le rôle fondamental de la recherche pour les sciences de la société dans un contexte de développement technologique.

Il faut abolir toute distinction entre recherche fondamentale et recherche finalisée. La volonté historique de classer les activités de recherche et les disciplines d'enseignement en divisions verticales et hiérarchisées a abouti à élever certaines sciences dites fondamentales pour mieux rabaisser les sciences dites appliquées. Les grandes réalisations humaines d'aujourd'hui résultent de l'assemblage des compétences et tout chercheur contribue à ces réalisations dans le domaine où ses aptitudes sont le mieux en mesure de s'affirmer au sein d'un encadrement approprié. Le concept « science pratique » remplace la notion de « sciences appliquées » par celle d'« applications des sciences » dans la mesure où tout développement scientifique est susceptible d'applications au bénéfice de la société.

Aujourd'hui, on constate que l'innovation est au croisement des produits et que l'entreprise ne peut se développer qu'en tenant compte de son environnement. Ceci est vrai pour la recherche fondamentale, pour la Recherche & Développement, pour la production industrielle. Les plateaux techniques ont un rôle structurant. En outre, ils contribuent, avec leur connaissance du système de recherche local, à l'identification de partenaires d'excellence pour des projets à bâtir conjointement et à l'élaboration de thématiques de recherche d'intérêt partagé pour lesquels

7. Les sciences humaines et sociales n'en sont pas pour autant « molles » ! Les sciences dites « dures » ne doivent pas être « inhumaines ».

8. Thème de recherche du laboratoire de sociologie de l'innovation de l'École des mines de Paris.

industriels et universitaires coopèrent en amont des découvertes et non pas uniquement pour valoriser les résultats en aval. À l'époque héroïque des débuts de l'informatique, les ingénieurs et chercheurs de la société IBM⁹ avaient l'habitude d'ajouter aux concepts de *hardware* (quincaillerie) et de *software* (logiciel) celui de « *manware* » (ressource humaine). Bien entendu, c'est ce dernier qui était primordial pour la réussite des projets.

Le développement des télécommunications a donné lieu à une attention toute particulière des entreprises concernées par l'usage dans leur domaine¹⁰. C'est à Rennes que furent appliquées, pour la première fois en France, des études d'usages et des tests dits « utilisateurs » dans la mise au point d'un produit électronique grand public. Au Centre commun d'études de télédiffusion et de télécommunication (CCETT), dans les années quatre-vingt, lors des travaux sur le minitel, l'un des premiers laboratoires de conception de services fut créé rassemblant dans la même équipe, informaticiens, ingénieurs en télécommunications, sémiologues, ergonomes, sociologues. Aujourd'hui, les pratiques de l'utilisateur potentiel, son imaginaire, sa sociologie sont au centre du processus d'anticipation et de conception de service. La facilité d'usage, l'appropriation rapide, mais aussi l'anticipation des attentes des clients comme la séduction de ces services font la différence entre produits concurrents.

Alors que la maîtrise des technologies les plus pointues n'assure plus à elle seule d'avantages compétitifs, il reste un domaine relativement inexploré pour maintenir ces avantages compétitifs en Europe : c'est celui de l'articulation des techniques et de l'usage. Il n'est plus possible de travailler dans le domaine des services et technologies de l'information et de la communication sans une approche sociotechnique visant à comprendre l'ensemble des référents, imaginaires, sociologiques, économiques, sémiologiques... qui affectent le produit conçu. La compréhension de l'homme dans ses rapports à la machine mais aussi dans ses rapports à l'autre, médiatisée par une machine, est désormais la clé des développements futurs et de l'activité économique. L'apport des sciences de l'homme est ainsi incontournable mais dans un cadre de fonctionnement et avec des méthodes qui restent encore largement à définir. Qu'il s'agisse de moteurs de recherche pour Internet, de développement de systèmes coopératifs en ligne, de mise au point de dialogues en langage naturel, d'organisation de la sécurité et de la protection de l'utilisateur, de

9. N'oublions pas que si l'on prend les trois lettres de l'alphabet précédant IBM, on obtient HAL, nom de l'ordinateur fou du roman d'Arthur C. CLARKE, « 2001, l'odyssée de l'espace » (Robert Laffont, « Ailleurs et demain », 2001).

10. Merci à Monsieur Jean-Yves Merrien pour certaines des idées exposées dans ce paragraphe. M. Merrien, diplômé en psychopathologie et sociologie, a été responsable du laboratoire Recherche & Développement à France Télécom où il conduisait des développements de maquettes de services ainsi que des études d'usages. À la Mission pour l'électronique, l'informatique et les télécommunications de l'Ouest, il a été chargé du développement de services pour le réseau Mégalis à haut débit.

systèmes d'apprentissage, toutes les disciplines des sciences de l'homme sont concernées.

La troisième révolution industrielle¹¹ ?

La troisième révolution industrielle débiterait¹² dans la seconde partie du xx^e siècle. Elle se traduit par le triomphe de la révolution cybernétique, par les avancées de la biologie, de la bio-informatique, de la génétique... Les convergences entre ces disciplines et les sciences humaines et sociales apparaissent comme sources de bouleversements sociologiques dont nous ne sommes pas en mesure aujourd'hui de mesurer toute l'ampleur. Vingt ans après 1984, il est à craindre que la troisième révolution industrielle ne permette de contrôler et de programmer les sociétés de production et ainsi d'imposer un ordre nouveau à l'humanité¹³. Les réseaux planétaires accélèrent le cours d'une mondialisation et d'une globalisation inévitables. Quelle est, sur la planète, la vitesse de propagation de cette révolution industrielle¹⁴ ?

Les nouvelles technologies de l'information et de la communication offrent de nouvelles possibilités en facilitant l'accès de tous à des réseaux décentralisés, moins hiérarchisés et donc plus démocratiques. Le développement technologique doit être accompagné d'un progrès simultané des sciences de l'homme et de la société. L'homme a souvent fait preuve, au cours des périodes les plus critiques de son histoire, de grandes facultés d'adaptation. Espérons que ces facultés se manifesteront plus que jamais au xxi^e siècle. Nous pourrions alors envisager avec optimisme un avenir meilleur. Espérons que, contrairement aux deux premières, cette troisième révolution ne s'achèvera pas par un gigantesque krach qui, cette fois, serait à l'échelle planétaire.

-
11. La première révolution industrielle débute en Grande-Bretagne au xviii^e siècle, provoquant de grands bouleversements économiques et sociaux. Un impact accru des découvertes scientifiques et des nouvelles technologies de l'époque, un contexte économique et social propice à de grands bouleversements sont à l'origine de cette transformation profonde de la société. L'événement essentiel consiste en l'utilisation de la vapeur, via la machine mise au point par James Watt. La vapeur met à disposition des manufactures devenues usines ou des transports ferroviaires des sources nouvelles d'énergie mécanique. Les historiens s'accordent pour considérer que cette première phase de la révolution industrielle s'achève avec le krach de Vienne, en 1873. En 1896 commence en Amérique et en Europe une seconde révolution industrielle. Un impact accru des découvertes scientifiques et des nouvelles technologies de l'époque en est à l'origine. Ces nouvelles technologies étaient basées sur la chimie et l'électricité et l'usage croissant du pétrole comme source d'énergie. Cette seconde révolution industrielle s'achève avec le krach de Wall Street en 1929 et la grande dépression américaine.
 12. Seuls les historiens et sociologues du futur seront en mesure d'indiquer, avec le recul nécessaire, s'il s'agit effectivement d'une révolution industrielle !
 13. *Nineteen Eighty-Four* est un roman de George Orwell que nous espérons non précurseur, écrit en 1948 et décrivant une société dans laquelle s'est instauré un régime de type totalitaire. Chacun accomplit les tâches programmées qui lui sont assignées sous l'œil omniprésent de « *Big Brother* » (ORWELL George, 1984, Gallimard, « Folio », 1976).
 14. Cette note est réservée aux seuls physiciens! Il s'agit bien entendu d'une vitesse de groupe, la vitesse de phase étant celle de la diffusion de l'information.

De toute façon, la machine est en marche, il ne saurait être question de l'arrêter, nous devons impérativement la maîtriser pour éviter qu'elle ne nous asservisse.

Michel A. NUSIMOVICI

Michel A. Nusimovici est professeur émérite des universités, conseiller économique et social de Bretagne et vice-président de l'Espace des sciences de Rennes. Membre de la Société française de physique, de la Société européenne de physique et de l'American Physical Society, il est l'auteur de nombreuses publications ainsi que d'une série d'émissions de télévision et de programmes scientifiques vidéo.