

Les technologies convergentes

Yaëlle Amsallem
Master Gestion et Dynamique des Organisations

« At this unique moment in the history of technical achievement, improvement of human performance becomes possible » (Roco & Bainbridge, 2003, p. 3). La formule est issue du premier rapport sur les technologies convergentes commandité par le gouvernement américain en 2002 (Fievet, 2002), intitulé *Converging Technologies for Improving Human Performance – Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*, formalisant pour la première fois l'existence d'une convergence des technologies. Le concept de convergence a souvent été utilisé par les historiens afin de désigner des progrès technologiques à forte incidence sociale. Chez les scientifiques, il est plus volontiers employé pour appréhender l'unification de plusieurs domaines d'étude distincts. Avec le développement des nanotechnologies, la convergence est désormais devenue un terme consacré :

“Convergent technologies” refers to the synergistic combination of four major NBIC (nano-bio-info-cogno) provinces of science and technology, each of which is currently progressing at a rapid rate: a) nanoscience and nanotechnology; b) biotechnology and biomedicine, including genetic engineering; c) information technology, including advanced computing and communication; d) cognitive science, including cognitive neuroscience. (Roco & Bainbridge, 2003, pp. 1-2)

Les technologies convergentes désignent quatre révolutions simultanées dans les domaines des Nanotechnologies, des Biotechnologies, de l'Informatique et des sciences Cognitives (NBIC). Ces technologies « convergent » dans le sens où des découvertes dans un domaine sont utilisées dans les recherches menées dans les autres disciplines. Ces quatre révolutions technologiques s'enrichissent mutuellement pour créer de fortes synergies qui multiplient la vitesse de recherche. Laurent Alexandre résume l'apport de ces nouvelles technologies :

Les quatre composantes des NBIC se fertilisent mutuellement. La biologie, et notamment la génétique, profite de l'explosion des capacités de calcul informatique et des nanotechnologies indispensables pour lire et modifier la molécule ADN. Les nanotechnologies bénéficient des progrès informatiques et des sciences cognitives qui, elles-mêmes, se construisent à l'aide des autres composantes. En effet, les sciences cognitives utiliseront la génétique, les biotechnologies et les nanotechnologies pour comprendre puis « augmenter » le cerveau et pour bâtir des formes de plus en plus sophistiquées d'intelligence artificielle, éventuellement directement branchées sur le cerveau humain. [...] Intégrés par millions dans notre corps, des nanorobots nous informeront en temps réel d'un problème physique. Ils seront capables d'établir des diagnostics et d'intervenir. Ils circuleront dans le corps humain, nettoyant les artères et expulsant les déchets cellulaires. Ces robots médicaux

programmables détruiront les virus, les cellules cancéreuses. (Alexandre, 2011, pp. 31-32)

Les quatre champs de recherche NBIC marquent l'entrée de l'homme dans une nouvelle ère : celle de l'amélioration des « performances humaines ».

Maîtriser la matière : les nanotechnologies (N)

La révolution provoquée par les nanosciences concerne, comme son nom l'indique, la maîtrise de la matière au niveau nanométrique. Les nanotechnologies peuvent être définies comme :

the study of phenomena and manipulation of materials at atomic, molecular and macromolecular scales, where properties differ significantly from those at a larger scale. Nanotechnologies are the design, characterisation, production and application of structures, devices and systems by controlling shape and size at nanometre scale. (Royal Society and Royal Academy of Engineering, 2004, p. 5)

À l'échelle du nanomètre, les propriétés des particules diffèrent significativement de celles observées à plus grande échelle. En effet, plus un objet est de petite taille, plus sa surface est grande, ce qui augmente ses relations avec les autres objets environnants (Ferry, 2016). Étienne Klein donne l'exemple d'une boîte de sucre. La surface de la boîte est bien plus petite que celle de la somme des morceaux de sucre. Le petit réagit différemment du gros (Klein, 2011).

Dès lors, la maîtrise de la matière à cette échelle permet de créer un nouveau cadre commun de référence pour des disciplines traditionnellement séparées telles que la robotique, la biomédecine ou encore la science des matériaux. Le développement des nanotechnologies permet d'appréhender l'ensemble de ces problématiques à l'aide d'une échelle unique. En effet,

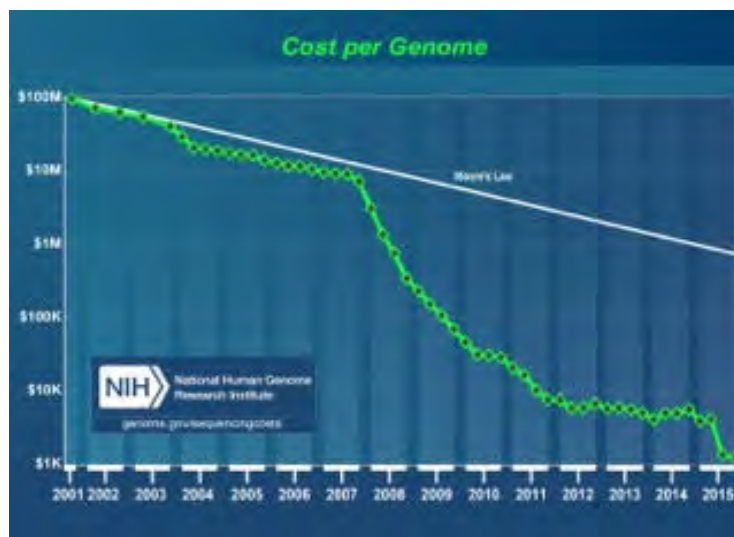
tous les systèmes composés de molécules peuvent, en principe être intégrés les uns avec les autres. La compréhension des propriétés à l'échelle nanométrique permet de réaliser les architectures souhaitées au niveau microscopique ou macroscopique. (Nordmann, 2004, p. 3)

De cette manière, les progrès dans le domaine des nanotechnologies irriguent la recherche dans les autres disciplines. Dans les biotechnologies (B), elles apportent avec elles de nouvelles techniques d'imagerie, des sondes et des capteurs. Dans la santé, elles trouvent des applications telles que nano-prothèses, nano-robots, nano-capteurs. Dans l'informatique (I) elles peuvent notamment répondre à des demandes de miniaturisation.

Reproduire l'ADN : les biotechnologies (B)

Les biotechnologies visent notamment à rendre possible la reprogrammation cellulaire et génomique. Le séquençage du génome humain – qui permet de « lire » l'intégralité de l'ADN et de détecter la propension à contracter certaines maladies – coûte aujourd'hui environ mille euros contre plus de trois milliards de dollars en 2000 (Wetterstrand, 2016, voir figure page suivante).

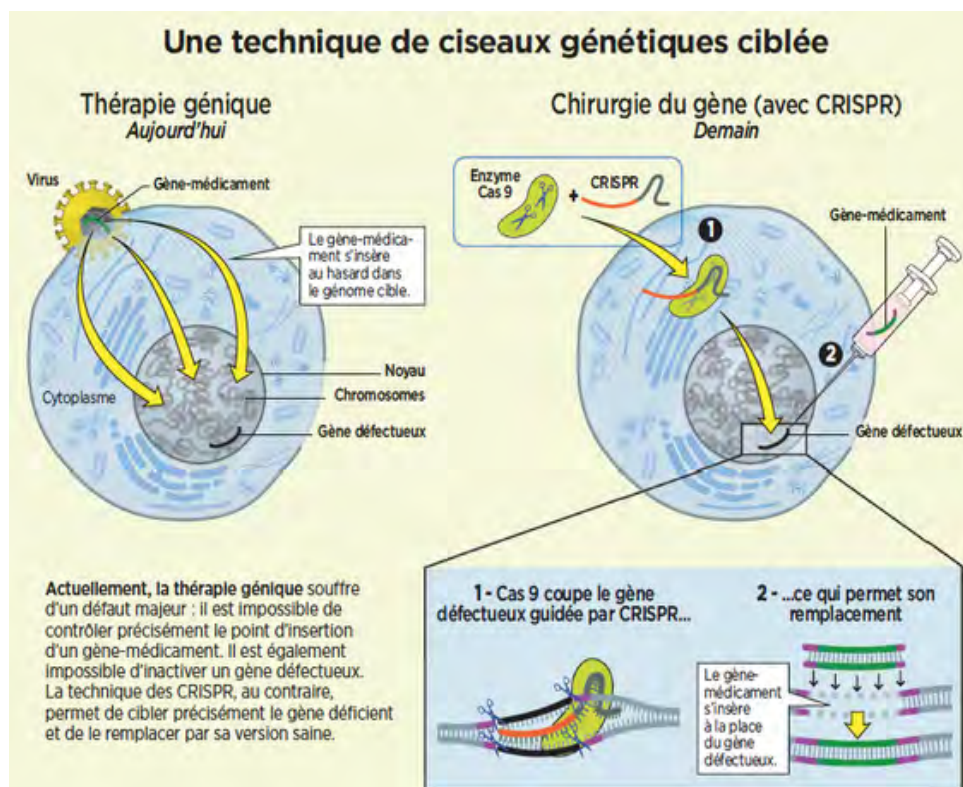
Évolution du coût du séquençage
du génome humain de 2001 à 2016
(Source : Wetterstrand, 2016)



Ces manipulations sont rendues d'autant plus efficaces que nous disposons depuis 2013 d'un nouvel outil de modification génétique qui permet de remplacer certaines séquences d'ADN et d'introduire certains gènes désirés dans le patrimoine génétique d'un individu. Ce procédé, dénommé, « CRISPR/Cas9 », repose sur deux outils : une protéine qui découpe l'ADN, « cas9 », et un brin d'ARN, « l'ARN guide » qui comme son nom l'indique, guide l'enzyme Cas9 vers le gène que l'on souhaite découper (Verdo, 2016). Comme l'explique Nicolas Gompel :

Il me suffit de deux heures pour déterminer la séquence CRISPR contre le gène que je veux cibler. Ensuite, je passe commande sur Internet à des entreprises spécialisées dans la confection de brins d'ADN des séquences CRISPR correspondantes. Après réception, nous les injectons dans les mouches que nous étudions. En un mois, nous obtenons nos mutants et, c'est le plus important, exactement ceux que nous désirions. (Ratel, 2016)

La technique CRISPR/Cas9
(Source : Ratel, 2016)



Il n'aura jamais été aussi simple de modifier le patrimoine génétique de n'importe quelle espèce vivante pour y introduire les mutations désirées.

Ce couteau suisse de la génétique constitue le graal des chercheurs qui attendaient cet outil depuis la découverte de la structure de l'ADN. Pour le moment, ceux-ci se sont contentés de modifier le génome d'espèces animales : des chiens lévriers à la musculature renforcée, des vaches laitières sans corne, des souris adultes guéries d'une maladie du foie incurable, un moustique vecteur de paludisme stérilisé. Toutefois, une telle technique pourrait à terme permettre de guérir des maladies génétiques humaines comme le sida ou la maladie d'Alzheimer, d'optimiser les capacités intellectuelles ou physiques des individus, et de rallonger la vie.

C'est un outil si simple et si puissant qu'il permet de prendre en considération des projets de recherche qui étaient jusqu'à présent de l'ordre du fantasme, faute de disposer de la technologie adéquate. (Ratel, 2016)

L'apport des biotechnologies aux autres champs des NBIC est tel que les pouvoirs publics ont, depuis une dizaine d'années, commencé à se pencher très sérieusement sur le sujet. Un rapport de la Commission européenne annonçait dès 2004 que :

Les biotechnologies renforcent d'autres technologies en identifiant des processus chimico-physiques et des structures algorithmiques dans les systèmes vivants dont on peut remonter la trace dans la base matérielle de leur organisation cellulaire et génétique. (Nordmann, 2004, p. 3)

Les biotechnologies profitent des avancées des nanotechnologies (N) nécessaires pour lire et modifier l'ADN. Elles ouvrent la voie à un univers entier de manipulations complexes encore alimenté par l'intelligence artificielle (C) et par l'accroissement de la puissance de calcul des ordinateurs (I).

Décupler la vitesse de calcul : l'informatique (I)

1. « Depuis 1959, date de l'invention du circuit intégré, la fameuse "loi de Moore" s'est trouvée vérifiée : tous les dix-huit mois, le nombre de transistors qui peuvent être fabriqués et installés sur une puce a doublé. On est ainsi passé en quarante ans d'un transistor sur une puce primitive à 100 millions de composants actifs sur les puces actuelles » (Dupuy, 2004, p.408).

Les progrès de l'informatique amènent deux évolutions majeures : l'accroissement de la puissance de calcul et la gestion de données de plus en plus nombreuses. Cette puissance est matérialisée par la loi de Moore selon laquelle la capacité des puces double tous les 18 mois¹. Le volume des données qui circulent sur les réseaux du monde entier se compte désormais en « zettaoctets » (10 puissance 21 octets). Leur gestion (*big data*) est dès lors devenue un enjeu majeur à cause, d'une part, de la nécessité d'analyser ces données en temps réel (liée à l'importance de leur volume) et, d'autre part, de leur valeur commerciale, notamment pour la publicité et le ciblage client. À cet égard, la société Axiom aurait perçu un revenu de plus d'un milliard de dollars pour la vente de ce type de fichier pour la seule année 2012 (Hamel & Marguerit, 2013). Actuellement, de plus en plus d'entreprises américaines se spécialisent dans la collecte et la revente de ces données. Les enjeux économiques sont immenses car le volume d'information que l'on peut obtenir est presque sans limite. Comme l'explique Luc Ferry :

Elles peuvent servir les finalités les plus diverses depuis le traitement des épidémies, la prise en charge de catastrophes naturelles, la gestion des primes d'assurance ou la lutte contre le crime, jusqu'au séquençage du génome humain en passant par la régulation des transports aériens, de la circulation routière, la voiture autopilotée, la lutte contre le cancer, le suivi à domicile des malades, des personnes âgées dépendantes, la publicité ciblée ou le choix et le suivi de l'efficacité de thèmes retenus par l'équipe d'un candidat dans une campagne électorale ! Elles peuvent tout aussi bien servir, c'est le revers de la médaille, à des fins abominables, par exemple au cyberterrorisme. (Ferry, 2016, p. 254)

L'enjeu réside ici dans l'interprétation que l'on fait de ces données, c'est-à-dire dans l'algorithme utilisé pour extraire les informations présentes au sein de ces *big data* (Ferry, 2016, p. 259). Nordmann remarque ainsi que les technologies de l'information « renforcent d'autres technologies par leur capacité à représenter toujours plus d'états physiques sous forme de traitement de données et de modèles grâce à diverses méthodes informatiques » (Nordmann, 2004, p. 16). Ces technologies constituent une nouvelle ressource qui irrigue directement les processus de recherche des NBIC.

Créer une intelligence artificielle forte : les sciences cognitives (C)

L'intelligence artificielle (IA) va de pair avec le développement des technologies informatiques. Deux formes d'intelligence artificielle doivent être distinguées : une IA « faible » et une IA « forte ». L'intelligence artificielle « faible » ne fait que « mimer l'intelligence humaine » (Ferry, 2016, p. 259). Il ne s'agit en définitive que d'une puissance de calcul capable de résoudre des problèmes de façon mécanique. À l'inverse, l'intelligence artificielle « forte » désigne l'existence de robots qui non seulement mimeraient de l'extérieur l'intelligence humaine mais seraient également « dotés de deux éléments exclusivement humains, la conscience de soi et les émotions » (Ferry, 2016, p. 259). Une telle intelligence serait capable de réussir le test de Turing imaginé par le mathématicien britannique du même nom, et qui mesure la capacité des machines à se faire passer pour des êtres humains.

À ce jour, nous ne sommes parvenus qu'à développer une forme d'intelligence artificielle faible. Toutefois, l'intelligence artificielle n'a cessé de s'améliorer au cours des dernières années. La victoire de Deep Blue sur Kasparov en 1997, alors sextuple champion du monde d'échecs, puis celle de Watson au jeu de télévision « Jeopardy ! » en 2011 contre les deux champions du jeu, Ken Jennings et Brad Rutter, ont marqué une première étape dans l'amélioration de l'intelligence artificielle. Plus récemment, en mars 2016, la victoire d'AlphaGo, un programme de jeu de go développé par Google, contre le champion coréen Lee Sedol, considéré comme le meilleur joueur du monde au milieu des années 2000, marque une nouvelle étape. Plus étonnant encore : les professionnels du jeu de go avaient alors considéré que la machine faisait preuve d'une créativité et d'une précision de lecture susceptibles de faire progresser certaines tactiques de jeu.

In Game Two, the Google machine made a move that no human ever would. And it was beautiful. As the world looked on, the move so perfectly demonstrated the enormously powerful and rather mysterious talents of modern artificial intelligence. (Metz, 2016)

Si l'AlphaGo de Google fait preuve d'une créativité nouvelle dans le domaine de l'intelligence artificielle faible, c'est son moteur de recherche qui constitue aujourd'hui la forme la plus aboutie d'intelligence artificielle. Comme l'expliquait Laurent Alexandre :

Google est l'intelligence artificielle la plus sophistiquée du moment. La preuve, on y passe trois heures par jour. C'est bien parce que Google est intelligent qu'on pose tant de question à Google. Bien sûr, Google n'est pas au niveau d'une intelligence biologique mais il progresse extrêmement vite de par sa structure. Google est organisé comme un cerveau : les synapses, liens entre les neurones, sont remplacées par les liens hypertextes entre les pages. C'est un mécanisme à la fois neuronal et darwinien, et qui se rapproche très vite d'un cerveau qui évoluerait sous forme d'une intelligence artificielle. (Alexandre, 2014)

Désormais, l'ambition affichée de Google est bien d'appliquer son modèle de réussite dans les technologies de l'information (I) à celles de la santé et des biotechnologies (B) pour repousser toujours plus loin les frontières de l'intelligence artificielle (C). L'intégration de Raymond Kurzweil, spécialiste de l'intelligence artificielle et théoricien du transhumanisme à l'équipe de Google en 2013 est à cet égard révélatrice. Confiant, le futurologue prédit l'existence d'une intelligence artificielle forte dès 2045.

De nouveaux enjeux économiques, sociaux et politiques

Les entreprises dominantes dans les NBIC (Google, Apple, Facebook, Amazon, Microsoft) défendent leur position de *leaders via* des stratégies d'acquisition relativement agressives et qui affectent la quasi totalité des *startups* les plus prometteuses dans ce domaine, concentrant ainsi dans l'écosystème de la Silicon Valley les fruits des recherches réalisées à l'échelle mondiale. Entre 2001 et 2016, Google a réalisé environ 150 acquisitions. Moteurs de recherche, publicités en ligne, robots, *cloud*, *big data* : la majeure partie de ces opérations relève du domaine des NBIC. Ce constat s'applique également à Apple (100 acquisitions depuis 1988) et à Facebook (60 depuis 2005). En particulier, Google a investi dans deux entreprises clés du secteur : 23andme, spécialisée dans le séquençage d'ADN, et Calico (California Life Company) dont l'objectif est de « tuer la mort » à l'aide des biotechnologies.

Dès lors, le débat ne porte pas tant sur le potentiel d'innovation technologique des NBIC, ni même sur la portée des transformations sociales qu'elles pourraient induire mais plutôt sur le positionnement des différents acteurs concernés. Ces questions, généralement d'ordre éthique, se déploient à plusieurs échelles. Premièrement, au niveau économique, des entreprises comme Google, Facebook, IBM, Microsoft et Amazon s'interrogent sur l'orientation des recherches qu'elles impulsent dans le secteur de l'intelligence artificielle. Ces géants du Web ont créé un comité d'éthique (*Partnership on Artificial Intelligence to Benefit People and Society*) afin d'informer les citoyens et les pouvoirs publics de l'impact des technologies. Leur objectif est, d'une part, de déterminer des « bonnes pratiques éthiques » en la matière et, d'autre part, de rendre ces technologies plus aisément acceptables pour les populations (Tual, 2016). Deuxièmement, les pouvoirs publics doivent adapter la réglementation en vigueur aux innovations technologiques croissantes. Ceci requiert de trouver un équilibre entre la conduite d'une réflexion éthique sur le sujet, et la poursuite d'une stratégie de compétitivité dans les NBIC. À cet égard, des rapports publiés aux États-Unis et en Europe analysent l'influence des NBIC sur la société et installent les bases du débat entre « bioprogressistes » et « bioconservateurs ». Troisièmement, les citoyens sont à la fois les premiers concernés et les moins bien informés sur l'évolution et l'influence des NBIC. Certains dirigeants, à l'image d'Elon Musk ou de Bill Gates, se sont publiquement étonnés de l'absence manifeste d'inquiétudes populaires sur ces questions (Karayan, 2015). Toutefois, les potentiels moyens d'influence et d'intervention des citoyens face au poids grandissant des entreprises phares dans le domaine restent aujourd'hui à définir. En somme, plus encore que les acquis récents dans le domaine des NBIC, c'est bien l'absence de débat public sur les questions liées au développement des technologies convergentes qui doit aujourd'hui interpeller les citoyens et questionner les prises de position des responsables politiques, économiques et sociaux ■

Références

- Alexandre Laurent (2011) *La mort de la mort : Comment la technomédecine va bouleverser l'humanité*, Paris, Jean-Claude Lattès.
- Alexandre Laurent (2014) *Le cerveau et l'intelligence artificielle*, France Culture.
- Bainbridge William Sims & Roco Mihail C. [eds] (2006) *Managing Nano-Bio-Info-Cogno Innovations: Converging Technologies in Society*, Dordrecht, Springer.
- Bénavent Christophe (2014) "Big Data: No Best Way", *Le Libellio d'Aegis*, vol. 10, n° 4, pp. 5-14.
- Dupuy Jean-Pierre (2004) "Quand les technologies convergeront", *Revue du MAUSS*, n° 23, 2004/1, pp. 408-417.
- Ferry, Luc (2016) *La révolution transhumaniste : comment la technomédecine et L'uberisation du monde vont bouleverser nos vies*, Paris, Plon.
- Fievet Cyril (2002) "Améliorer l'humain : une nouvelle renaissance ?", *Le Monde*, 31 juillet.
- Hamel Marie-Pierre & Marguerit David (2013) "Analyse des big data. Quels usages, quels défis ?", *Note d'analyse*, n° 8 (novembre), Paris, Commissariat général à la stratégie et à la prospective.
<http://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/2013-11-09-Bigdata-NA008.pdf>
- Karayan Raphaële (2015) "Intelligence artificielle : attention danger, même Bill Gates a peur !", *L'Express/L'Expansion*, 2 février.
- Klein Étienne (2011) *Le small bang des nanotechnologies*, Paris, Odile Jacob.
- Metz Cade (2016) "In Two Moves, AlphaGo and Lee Sedol Redefined the Future", *Wired*, March 16.
<https://www.wired.com/2016/03/two-moves-alphago-lee-sedol-redefined-future/>
- Nordmann Alfred (2004) *Technologies convergentes – Façonner l'avenir des sociétés européennes*, Rapport, Bruxelles, Commission européenne.
- Ratel Hervé (2016) "CRISPR/Cas9 : la révolution de la chirurgie du gène", *Sciences et Avenir*, 22 mars.
https://www.sciencesetavenir.fr/sante/crispr-cas9-la-revolution-de-la-chirurgie-du-gene_30130
- Roco Mihail C. & Bainbridge William Sims (2002) "Converging Technologies for Improving Human Performance: Integrating From the Nanoscale", *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 4, n° 4, pp. 281-295.
- Roco Mihail C. & Bainbridge William Sims (2003) *Converging Technologies for Improving Human Performance*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, NSF/DOC-sponsored report.
- Royal Society (The) & Royal Academy of Engineering (The) (2004) *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*, London, The Royal Society.
- Tual Morgane (2016) "Intelligence artificielle : les géants du Web lancent un partenariat sur l'éthique", *Le Monde*, 28 septembre.
- Verdo Yann (2016) "CRISPR, la découverte qui met la génétique en ébullition", *Les Échos*, 15 avril.
- Wetterstrand Kris A (2016) *DNA Sequencing Costs: Data from the NHGRI Genome Sequencing Program (GSP)*, Bethesda (MD), National Human Genome Research Institute.
www.genome.gov/sequencingcostsdata.