

## Amélioration cognitive

Joëlle Proust

Ecole Normale Supérieure, Paris

L'amélioration cognitive consiste dans l'ensemble des pratiques visant à amplifier ou à étendre les capacités naturellement présentes dans l'esprit humain ou animal. Ainsi définie, l'amélioration cognitive est ce vers quoi tendent nombre de techniques humaines vénérables, telles que les abaques (bouliers, réglottes de Neper, ancêtres des calculettes), l'écriture, l'impression d'ouvrages, le télescope ou le microscope, nombre d'institutions, telles que l'organisation publique de l'enseignement, la recherche pédagogique, les publications à visée éducative ou scientifique (avec leurs indispensables systèmes d'évaluation), et toutes les technologies de l'information: ordinateurs, bases de données collectivement construites et enrichies (Wikipedia), systèmes automatiques de traitement des données, systèmes d'aide à la décision, au diagnostic médical, flash trading, logiciels d'espionnage, etc.

Une définition plus étroite est plus conforme à l'usage contemporain: elle restreint l'amélioration cognitive aux techniques qui impliquent de développer les capacités perceptives ou cognitives *au-delà de l'extension normale des facultés propres à l'espèce ou à l'individu*. Certaines de ces techniques visent à remédier à un handicap, c'est-à-dire de permettre à un individu cognitivement affecté par une maladie ou un accident cérébral de jouir des mêmes capacités cognitives qu'un individu sain. D'autres visent à créer des capacités cognitives nouvelles ou à faire reculer les limites des capacités existantes de l'espèce humaine. Il s'agit alors de permettre à certains individus de développer de nouvelles formes de perception, de mémoire, ou de raisonnement, en vue de leur procurer un avantage cognitif par rapport à ceux qui n'ont pas été améliorés.

Quoique cette distinction entre remédiation médicale restaurative et augmentation créative soit importante sur le plan éthique, elle ne permet pas de distinguer vraiment des classes d'intervention d'amélioration. Nous verrons que, dans bien des cas, une technique de remédiation peut être utilisée à des fins d'extension et réciproquement.

## **Les types de visée d'amélioration cognitive**

Quatre types d'interventions existantes ou en développement sont inspirées par l'objectif de l'amélioration cognitive entendu au sens étroit.

1) des manipulations génétiques peuvent être potentiellement utilisées en vue de modifier les capacités naturelles, par exemple en renforçant les capacités exécutives et attentionnelles, ou en inhibant les comportements violents chez le patient ou le sujet sain. A l'heure actuelle, des animaux transgéniques permettent de tester les effets des manipulations génétiques qui pourraient remédier un jour à la maladie de Parkinson ou au diabète.

2) Des manipulations chimiques peuvent chercher à moduler des états motivationnels et cognitifs. Les médicaments dits "nootropiques" visent ainsi à améliorer la mémoire, la motivation, l'attention et de concentration. Par exemple, les ampakines sont des médicaments à l'étude, destinés à faciliter la potentiation à long terme des neurones. Ils sont susceptibles d'améliorer la mémoire chez le sujet âgé et de réduire certains problèmes psychiatriques (Lynch et Gall, 2006). Chez le sujet sain, ils pourraient, s'ils étaient mis sur le marché, accélérer l'apprentissage et permettre une consolidation rapide et durable des souvenirs, avec des effets indésirables encore à l'étude sur la structuration ou la déformation des souvenirs. Autre exemple: le méthylphénidate (Ritaline) inhibe la recapture de la dopamine et de la noradrénaline; il est utilisé depuis 1960 pour traiter les enfants atteints d'un trouble de l'attention (avec ou sans hyperactivité). Il est aujourd'hui massivement consommé par les étudiants américains en vue d'améliorer leur concentration et d'être plus compétitifs dans leur cursus universitaire. Le modafinil (Provigil) initialement prescrit pour combattre la narcolepsie et l'hypersomnie, est couramment utilisé par les pilotes d'avion, les conducteurs de poids lourds, les militaires en campagne, pour éviter l'endormissement. Du fait qu'il augmente la capacité d'inhiber ses réponses impulsives, le modafinil pourrait également améliorer le raisonnement.

3) Des techniques non-invasives par neurofeedback sont utilisées en vue d'améliorer ou même de développer une fonction cognitive peu développée chez un individu, par suite d'un environnement prénatal ou postnatal défavorable (Tremblay, 2008). Des travaux expérimentaux démontrent les effets de l'entraînement qualitatif de l'attention sur le développement de l'intelligence individuelle chez l'enfant de 4 ans. (Posner & Rothbart, 2005). Ils conduisent à préconiser l'intervention précoce sur les enfants atteints de Troubles de l'Attention avec Hyperactivité, en leur proposant des jeux vidéo du type de ceux que Posner a proposés aux enfants normaux pour développer leur attention. Une méthode

alternative est aujourd'hui explorée, reposant sur des techniques non-invasives de neurofeedback (Fuchs, et al. 2003, Strehl et al., 2006). Un jeu vidéo invite un enfant muni d'un casque EEG d'atteindre des valeurs cibles (représentées par exemple par la vitesse relative de divers avions). Les valeurs observées sont données par les fréquences des ondes neuronales liées à la focalisation attentionnelle existante. Les valeurs cibles correspondent à une focalisation attentionnelle désirée. Le neurofeedback par casques EEG est également appliqué à la déficience en activité émotionnelle associée à la psychopathie (Caria et al. 2007). Comme le précédent, ce groupe de techniques non invasives peut manifestement servir des buts différents: remédiation thérapeutique pour les uns, rehaussement fonctionnel pour les autres. On peut s'attendre à ce que les casques EEG soient couramment employés dans cette deuxième fonction, dans un dispositif vidéo à but purement amélioratif en l'absence de toute pathologie.

4) Enfin, on doit mentionner les techniques d'amélioration cognitive invasive. Ici, des implants cyber-neuronaux visent à permettre à l'individu appareillé de disposer de l'information en ligne par des dispositifs intégrés à son corps ou à son cerveau. Ils permettent d'étendre ses capacités sensorielles ou perceptives, ou de lui restituer une forme de contrôle moteur de son environnement quand une lésion cérébrospinale l'en a privé. Les progrès dans ce domaine sont marqués par une intégration croissante des dispositifs. La première étape a consisté dans l'invention et le développement, voici plus de quarante ans, de systèmes non invasifs de substitution sensorielle. Ils se composent de capteurs recueillant les signaux dans la modalité défectueuse -- par exemple une caméra portée en bandeau--, et d'un système de couplage transformant ces signaux en stimulations interprétables par le sujet percevant, par exemple sous forme d'ondes sonores ou de stimulations tactiles sur un écran vibrotactile placé sur le dos, l'abdomen, le front ou la langue. Les prothèses neuronales représentent une étape nouvelle dans l'amélioration cognitive: l'information sensorielle pertinente est désormais prélevée dans l'environnement et transformée directement en signal neuronal. Par exemple, les implants cochléaires, vestibulaires, rétinaux ou tactiles disposent de senseurs artificiels qui prélèvent l'information modale concernée, et la convertissent en patterns d'activité transmis par stimulation électrique au tissu neuronal. Les implants cochléaires simulent l'analyse par la cochlée de fréquence des sons prélevés par un microphone puis stimulent les nerfs auditifs par des impulsions électriques correspondant aux fréquences. Les prothèses tactiles visent à "sensoriser" une main artificielle en analysant les signaux normalement prélevés par les trois types de mécanorécepteurs engagés dans le traitement des signaux cutanés. Les signaux sont

transformés en stimulations électriques destinés aux nerfs périphériques, ce qui permet au sujet appareillé de retrouver une sensibilité au feedback tactile dans ses interactions avec l'environnement. Les prothèses tactiles reproduisent de manière fiable l'endroit de la stimulation, ses propriétés temporelles et son intensité. (Kim et al. 2009). Elles seront, à terme, complétées par un dispositif d'électrodes implantées cérébralement.

L'amélioration prothésique du toucher pourra se combiner avec la restitution de capacités motrices. Des pas de géants dans la cyborgisation ont en effet été faits dans le domaine des prothèses neuromotrices, à nouveau par création d'interfaces cerveau-machine. Miguel Nicolelis et ses collaborateurs, neuro-ingénieurs à l'université de Duke (Carmena et al., 2003) ont appris à un singe doucouli à contrôler un robot auquel il était corticalement connecté par un jeu d'électrodes implantées dans son cerveau. L'animal découvre rapidement quelle "pensée" peut activer le robot à distance. Cette neurotechnologie est actuellement exploitée à des fins prothésiques. Les tétraplégiques sans mobilité oculaire peuvent agir mentalement pour parvenir à communiquer leurs pensées en se concentrant mentalement sur les lettres présentées à l'écran. Ils peuvent aussi envoyer des « volitions » à une interface cerveau-machine, qui les transmet à un membre robotique ou à un écran d'ordinateur. Une trentaine de patients ont pu apprendre par ce biais à communiquer avec leur entourage, tandis que d'autres se sont entraînés à contrôler mentalement un agent robotique extérieur (Hochberg et al., 2006).

### **Interrogations éthiques**

La première clarification éthique que suscitent ces nouvelles techniques – et leur prolongement dans des lignées futures de cyborgisation –, consiste à se demander si elles disposent d'une légitimité médicale. Tout d'abord, s'agissant de médecine, se pose la question de savoir quelle est la *norme* à laquelle s'assujettissent à la fois le praticien et le bénéficiaire lorsqu'ils s'engagent ensemble dans une intervention améliorative de ce type (Allouche, 2009). Le cas le plus général consiste à rendre la jouissance d'une fonction cognitive à un individu qui en a été privé à la suite d'un accident ou d'une maladie. Ce qui légitime l'intervention médicale est alors, classiquement, de type régulateur: le patient doit pouvoir revenir à ce qu'est *pour lui* la norme de l'activité cognitive. La médecine améliorative peut aussi tenter, souvent avec un succès plus incertain, de remédier à une déficience congénitale, en vue de permettre à l'individu amélioré d'accéder aux fonctions cognitives propres à l'espèce

humaine. Ce qui rend le succès plus incertain, dans ce domaine, c'est que l'intervention ne peut tirer partie d'apprentissages antérieurs; elle doit donc inclure un apprentissage fastidieux souvent voué à l'échec, comme en ont fait douloureusement l'expérience les enfants non-entendants congénitaux dont l'implant cochléaire s'est avéré inutilisable.

Reste le cas, plus problématique sous l'angle éthique, où la norme n'est pas fixée par une fonction existante, mais par une fonction désirable. Dans ce cas, on paraît quitter le domaine de la médecine améliorative pour celui de l'"anthropotechnie cognitive", pour reprendre le terme de Peter Sloterdijk (Sloterdijk, 2000; voir aussi: Goffette, 2006). On peut argumenter ici que la frontière entre la remédiation et l'amélioration non médicale est floue et discutable, tout nouveau pas fait dans l'une permettant à l'autre de progresser (Bostrom, 2009, Harris, 2007). D'autres auteurs observent en outre que la médecine procède d'intentions fondamentalement comparables à celles de l'amélioration technologique, dans la mesure où elle vise souvent davantage que la simple restauration de la fonction : les vaccins, la contraception, les médicaments psychotropes, les interventions génétiques, visent à modifier durablement et à optimiser le fonctionnement physiologique humain : ils dévient le cours naturel des choses en adaptant les patients à des contraintes sociales (supporter des conflits) ou économiques (maîtriser les conditions de sa propre efficacité professionnelle) (Rothman & Rothman, 2003, Goffette, 2009). Il est donc insuffisant d'ancrer la réflexion éthique dans un cadre de justification exclusivement médical. C'est au contraire la médecine qui doit s'interroger sur les fondements éthiques de la visée anthropotechnique qui l'anime implicitement.

Reprenons donc le débat éthique sur l'amélioration cognitive dans sa dimension anthropotechnique la plus générale : laissant de côté le cas de la restauration fonctionnelle, tournons-nous vers la légitimité éthique de l'extension fonctionnelle. Une critique récurrente à l'encontre de l'aspiration à modifier les capacités cognitives insiste sur le *caractère prométhéen* du désir de transformer la nature de l'esprit humain (Sandel, 2004, Besnier, 2009). Selon ces critiques, le besoin de maîtrise de la nature s'étend à l'instrument même de sa maîtrise et de sa compréhension, et met ainsi en péril les valeurs humaines les plus fondamentales. Par exemple, comment respecter l'effort individuel et l'excellence fondée sur le travail si l'on peut acheter des adjonctions cérébrales permettant d'étendre sans effort sa mémoire ou sa capacité de raisonner ? Selon Léon Kass (Kass, 2003), l'augmentation cognitive transforme le sens de sa propre valeur: l'individu ayant bénéficié d'un rehaussement de ses capacités n'a plus le sens d'être à l'origine de ses propres succès. Il perd le sens de l'effort, et la fierté d'avoir dépassé ses propres limites. Au lieu donc d'être un facteur

d'"hyper-agentivité", l'anthropotechnie interdirait aux hommes modifiés de jouir de leurs performances cognitives. Le talent introduit serait vécu comme un agent causal étranger auquel l'agent ne peut s'identifier. Ces conséquences psychologiques révèlent les motivations sous-jacentes du projet mélioriste: la non-acceptation de sa propre finitude, la honte d'être "seulement" soi, conduisent à vouloir annexer la mémoire sans faille, la puissance de calcul des machines, et finalement à tenter de dépasser l'homme, c'est-à-dire aussi d'en finir avec lui (Besnier, 2009).

Face à ce type de questionnement, on peut opposer que les limites cognitives ne font que reculer, sans être pour autant supprimées: l'effort personnel est requis pour tirer parti de capacités cognitives accrues, ce qui laisse place au mérite individuel (Harris, 2007). Andy Clark associe, quant à lui, le refus de l'intégration de l'homme et de la machine à la résurgence du dualisme cartésien. L'esprit-corps se construit en effet depuis toujours par couplage avec l'environnement matériel complexe, culturel et technologique, dans lequel il évolue: "L'ouverture à une étroite symbiose entre l'humain et le machinique, est au cœur de notre nature humaine primitive" (Clark, 2003,168). Si l'environnement physique est toujours aménagé et organisé pour externaliser nos fonctions mentales et physiologiques, et pour répondre aux besoins de nos esprits-corps, rien de plus naturel que de tenter d'intégrer ces dispositifs à nos corps et à nos cerveaux. Ce que révèle cette courte discussion, c'est que l'argument "prométhéen" n'a pas de pertinence proprement éthique: les valeurs mises en jeu relèvent non de l'éthique, mais de préférences culturelles sur ce que sont la vie bonne, le rôle qu'y ont les machines, et l'estime de soi.

La deuxième objection que soulève l'anthropotechnie est plus directement éthique. Avec les progrès de la génomique, il sera bientôt possible – sinon partout légal – d'améliorer génétiquement les propriétés de sa descendance, par exemple ses capacités attentionnelles ou motivationnelles. Le rapport des parents à leurs enfants s'en trouve profondément modifié: les premiers adoptent le rôle de « designers cognitifs » des seconds, voire, du point de vue des croyants, se substituent à Dieu, à cette différence près que les talents des enfants sont achetés, et non plus conférés (Sandel, 2004). L'ombre de l'eugénisme plane sur l'ingénierie génétique mise au service de parents prométhéens: ne tentent-ils pas de modifier délibérément le génome dont ils sont les porteurs? L'accusation d'eugénisme a été combattue avec force par des philosophes comme Robert Nozick et John Rawls. Ce qui est contraire à l'éthique dans l'eugénisme réside, à leur avis, dans l'aspect coercitif de directives appliquées par les nazis à toute une population ; pas de coercition, en revanche, dans l'ingénierie génétique : le

choix d'éviter à ses enfants des propriétés indésirables est une décision privée qui n'a rien de répréhensible en soi. C'est un service rendu à ses descendants de ne pas diffuser les défauts génétiques qui les priveraient d'une vie bonne. Cet argument, toutefois, laisse de côté le fait incontestable que le génome n'appartient pas à son porteur. Nos descendants seront affectés par les conséquences imprévues de la modification de gènes indésirables (du fait de la multifonctionnalité des gènes, il y en aura sans doute de nombreuses). Nous remercieront-ils d'avoir accepté le risque de rendre leur génome dysfonctionnel? Ne seront-ils pas, en outre, sensibles à la diminution de leur autonomie, du fait des améliorations artificielles qui leur ont été imposées ? Telle est l'objection développée par Jürgen Habermas à la suite de Hans Jonas (Habermas, 2003) : dans la mesure où les hommes des générations futures ne se considéreront plus comme auteurs de leur propre vie, mais seront irrémédiablement assujettis à une décision génétique qui leur aura été arbitrairement imposée, ils seront affectés dans leur propre personne, à la fois en tant qu'êtres naturels et en tant qu'agents moraux. Si, par exemple, ils ont été "améliorés" en vue de développer une capacité mathématique, ou musicale, etc., ils se sentiront tenus de mener la vie correspondant au talent implanté: un talent reçu aurait été vécu comme une chance, un talent implanté est vécu comme une restriction de possibles. Face à ces réserves, John Harris remarque que la responsabilité des parents est engagée en permanence dans la myriade de décisions qu'ils ont à prendre pour le bien futur de leurs enfants: vacciner ou non un bébé, choisir pour son enfant telle ou telle école, telle pratique artistique, telles croyances religieuses, telles préférences alimentaires, contribuent aussi à déterminer la vie future de leur progéniture, sans que se pose la question de l'assujettissement à des parents designers. On peut ajouter que si des parents peuvent éviter à leurs enfants des problèmes génétiques qu'ils ont eux-mêmes rencontrés, ils seraient irresponsables de ne pas tout mettre en œuvre pour y parvenir. Le problème est alors moins éthique qu'instrumental: il convient d'apprécier le rapport entre le bénéfice de l'intervention et les risques encourus par les descendants: problème plus technique qu'éthique, qui, pour beaucoup d'auteurs, relève de la liberté individuelle (Hughes, 2004, Bostrom, 2009).

Il n'en reste pas moins que l'ingénierie génétique doit rester sous la surveillance des états démocratiques. On ne peut pas sous-estimer la possibilité que des manipulations intentionnelles du génome puissent être dictées par des motivations égoïstes, et non par un sentiment de responsabilité envers ses descendants. L'ingénierie génétique pourrait servir à fabriquer des êtres soumis, sans capacité décisionnelle propre, ou hyperspécialisés dans une fonction instrumentale quelconque. Il est donc impératif que les sociétés démocratiques soient

vigilantes sur ce point, comme elles le sont sur les pratiques sociales qui, en certaines parties du monde, conduisent à faire des femmes des êtres soumis et spécialisés de ce genre.

La troisième objection éthique à l'encontre de l'amélioration cognitive concerne la question de l'équité. Les techniques augmentatives n'engendrent-elles pas, dans nombre de cas, des "biens positionnels", c'est-à-dire des ressources cognitives supplémentaires qui permettent aux bénéficiaires de l'emporter sur leurs compétiteurs, comme c'est le cas pour les étudiants consommateurs de Ritaline ? Dans cette course aux armements cognitifs, le gain ne serait pas l'utilité sociale, mais seulement la supériorité provisoire du bénéficiaire relativement à un adversaire. Même si l'on se borne à considérer les techniques qui n'impliquent aucun bénéfice comparatif, le problème de l'équité continue à se poser. Les techniques de remédiation motrice invasive, par exemple, sont réservées à des patients pouvant payer pour leur autonomie les dizaines de milliers de dollars de la chirurgie cérébrale et des dispositifs électroniques nécessaires. Cela signifie qu'une partie significative de l'investissement social en matière de recherche privilégie un nombre très restreint de personnes susceptibles de bénéficier de ces travaux de pointe.

A ces critiques, Bostrom répond d'abord que "la plupart des fonctions cognitives ne sont pas des biens purement positionnels (...) Nous rencontrons des problèmes urgents que nous serions mieux armés pour résoudre si nous étions plus intelligents, plus sages, ou plus créatifs" (Bostrom, 2009). En outre, si l'on prend en considération l'utilité sociale de la résolution de problème, par exemple, on voit que tous les membres d'une société peuvent en fin de compte bénéficier de l'amélioration cognitive de quelques-uns. Kurzweil pousse l'argument plus loin: si elle ne produit pas des cyborgs capables de résoudre les problèmes complexes que posent la raréfaction des ressources énergétiques, le réchauffement climatique, etc., l'humanité sera entièrement incapable de faire face à ces défis (Kurzweil, 2006).

Bostrom évoque également le fait que l'enrichissement cognitif bénéficiera surtout à ceux qui sont cognitivement handicapés, ce qui devrait conduire à une réduction globale plutôt qu'à un accroissement des différences cognitives entre individus. S'ajoute à cela l'éventualité de la mise en place de règles gouvernementales destinées à fixer dans quelles conditions l'augmentation cognitive est justifiée.

La dernière objection éthique que nous évoquerons ici cible particulièrement l'amélioration génétique. Francis Fukuyama combat vigoureusement l'idée de modifier les caractéristiques biologiques humaines, en arguant que si nous devons perdre ce qui fait notre humanité commune, nous perdrons aussi l'idée de dignité universelle de l'humain, c'est-à-dire



le fondement de l'égalité des droits (Fukuyama, 2002). Cette idée est partagée par Annas et Andrews, qui proposent de bannir toute forme de technique visant à modifier le génome, à développer des organes artificiels, ou nécessitant des recherches sur l'embryon. Ce sont à leurs yeux des crimes contre l'humanité, consistant à en modifier l'essence (Annas & Andrews, 2002). Face à l'argument de la valeur juridique de l'essence génétique, James Hughes objecte que la citoyenneté s'adresse non à des corps humains, mais à des personnes (Hughes, 2004). On peut ainsi selon lui reconnaître des droits à des personnes qui seraient des hybrides hommes-machines, voire des hybrides hommes-humains. Le débat éthique en matière d'amélioration cognitive devrait maintenant déborder le cercle étroit des spécialistes; l'enjeu de l'anthropotechnie nous concerne tous.

### Bibliographie

Allouche, S. 2009. Des concepts de médecine d'amélioration et d'enhancement à celui d'anthropotechnologie. In J.N. Missa & L. Perbal (eds.), *"Enhancement", Ethique et Philosophie de la médecine d'amélioration*. Paris: Vrin, 65-78.

Annas, G.J., Andrews, L.B., Isasi, R.M. 2002. Protecting the endangered human, Toward an international treaty prohibiting cloning and inheritable alterations. *American Journal of Medicine*, 28: 151-178.

Besnier, J.M. 2009. *Demain, les posthumains*. Paris: Hachette.

Bostrom, N. 2009. Cognitive enhancement: methods, ethics, regulatory challenges. *Science and Engineering Ethics*, 15, 3: 311-341.

Caria A., Veit, R., Sitaram, R., Lotze, M., Wiskopf, N. Grodd, W. & Birbaumer, N. 2007. Regulation of anterior insular cortex activity using real-time fMRI, *Neuroimage*, 35, 3, 1238-1246.

Carmena, J.M., Lebedev, M.A., Crist, R.E., O'Doherty J.E., Santucci D.M., Dimitrov D.F., Patil P.G., Henriquez C.S., , Nicolelis M.A.L.. 2003. Learning to Control a Brain-Machine Interface for Reaching and Grasping by Primates, *PLOS Biology*, 1,2, 193-208.

Clark, A. 2003. *Natural-born Cyborg, Minds, Technologies and the Future of Human Intelligence*. Oxford: Oxford University Press.

Fuchs, T. Birbaumer, N. Lutzenberger, W., Gruzelier, J.H. & Kaiser, J. 2003. Neurofeedback training for attention-deficit/hyperactivity disorder in children: a comparison with methylphenidate. *Applied Psychophysiology & Biofeedback*, 28, 1-12.

Fukuyama, F. 2002. *Our postmodern future, Consequences of the Biotechnology Revolution*. New York: Picador.

- Goffette, J. 2009. Modifier les humains: anthropotechnie versus médecine. In J.N. Missa & L. Perbal (eds.), "*Enhancement*", *Ethique et Philosophie de la médecine d'amélioration*. Paris: Vrin, 49-63.
- Habermas, J. 2003. *The future of human nature*. Malden Ma: Polity Press.
- Harris, J. 2007. *Enhancing Evolution*. Princeton: Princeton University Press
- Hochberg, L.R., Serruya, M.D., Fries, G.M., Mukand, J.A., Slaeh, M. Caplan, A.H. Branner, A., Chen D., Penn, R.D. & Donoghue, J.P. 2006. Neural Ensemble Control of prosthetic devices by a human with tetraplegia. *Nature*, 442, 164-171.
- Hughes, J. 2004. *Citizen Cyborg*. Boulder, Co: Westview.
- Kass, L.R. 2003. Ageless Bodies, happy souls: biotechnology and the pursuit of perfection. *The New Atlantis*, 1: 9-28.
- Kim, S.S., Sripathi, A.P., Vogelstein, R.J., Armiger, R.S., Russell, A.F. and Bensmaia, S.J., 2009. Conveying Tactile Feedback in Sensorized Hand Neuroprostheses Using a Biofidelic Model of Mechanotransduction. *IEEE Transactions On Biomedical Circuits and Systems*, 3, 6: 398-404.
- Kurzweil, R. 2006. *The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology*. New York: Penguin.
- Lynch, G. & Gall, C. M. 2006. Ampakines and the threefold path to cognitive enhancement. *Trends in Neurosciences*, 29, 10: 4-554-562.
- Posner M.I. & Rothbart, M.K., 2005. Influencing brain networks: implications for education. *Trends in Cognitive Science*, 9, 3, 99-103.
- Rothman, S. & Rothman, D. 2003. *The pursuit of perfection*. New York: Pantheon Books.
- Sandel, M. J. 2004. The case against perfection: what's wrong with designer children, bionic athletes, and genetic engineering. *Atlantic Monthly*, 292, 3: 50-62.
- Sloterdijk, P. 2000. *Règles pour le Parc humain*. Paris, Mille et Une Nuits ; texte all: *Regeln für den Menschenpark. Ein Antwortschreiben zu Heideggers Brief über den Humanismus*, Frankfurt: 1999)
- Strehl, U., Leins, U. Goth, G. Klinger, C., Hionterberger, T. & Birbaumer, N. 2006. Self-regulation of slow cortical potentials – a new treatment for children with ADHD. *Pediatrics*, 118, 1530-1540.
- Tremblay, R.M. 2008. *Prévenir la violence dès la petite enfance*, Paris: Odile Jacob.

-----