

Questions épistémologiques ouvertes par les neurosciences et l'innovation en neurotechnologies

Par Dr. Françoise ROURE

Chercheur associé au Laboratoire CETCOPRA, Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne
Présidente de la section Sécurité et Risques du Conseil général de l'Économie

Les neurosciences et les nouvelles neurotechnologies connaissent un essor sans précédent lié à la convergence des biotechnologies avec les technologies numériques, augmentées par l'intelligence artificielle, et les nanotechnologies. Cet essor, qui rencontre une forte demande en dispositifs médicaux comme en applications commerciales, constitue une opportunité pour la santé et le bien-être, mais crée aussi les conditions d'une menace sur la manière même de penser la neuro-éthique. La formulation des questions épistémologiques soulevées par les neurotechnologies est essentielle pour garantir demain le respect de l'intégrité mentale, condition de l'autonomie et de la dignité humaine. De la qualité des réponses qui leur seront apportées dépendra l'émergence d'une innovation responsable en ce domaine.

Introduction

L'approche épistémologique, discours sur la science au sens de savoir et de connaissance, ou encore philosophie des sciences, connaît un renouvellement accéléré en ce premier quart de XXI^e siècle. En effet, la convergence des sciences numériques, biologiques et nanotechnologiques a fait entrer la civilisation dans une ère d'hyperchoix ⁽¹⁾ dans un domaine traditionnellement tabou ou sacré, celui de l'ingénierie de la matière vivante, avec la conception de chimères à volonté, d'une part, et de l'ingénierie du domaine spirituel, de la pensée et des comportements, d'autre part, avec l'utilisation des sciences cognitives, qui concernent l'acquisition des connaissances à des fins commerciales et compétitives et non plus seulement thérapeutiques.

Ce renouvellement accéléré est actionné par deux puissants leviers : d'une part, le poids budgétaire déjà très élevé de la prise en charge des maladies liées au système nerveux, qui conduit à la remise en cause de la soutenabilité de l'effort public en ce domaine, et, d'autre part, l'explosion anticipée de la demande de soins liée aux séquelles neurologiques de la pandémie mondiale du Sars-Cov-2.

Une audition conduite par l'OPECST ⁽²⁾, le 12 avril 2021, révèle que 70 % des cas présentent un dysfonctionnement cérébral de type neurologique consécutif au Covid-19, le système nerveux des patients présentant un état de dysrégulation aux manifestations diverses (troubles de l'attention, du sommeil, de la mémoire, réversibles ou non), décelées au cours de bilans neuropsychologiques.

Sur le plan éthique, les questions soulevées par la convergence technologique permettant de lire et d'écrire dans le cerveau humain sont abyssales, et l'urgence de les mettre en délibération afin d'en contenir les mésusages est avérée ; une mise en délibération pouvant aller jusqu'au niveau constitutionnel, comme l'exemple du Chili l'atteste au travers de sa démarche de protection des neuro-droits entamée en 2020 sur la base des travaux initiés par le groupe Morningside, avec Rafaël Yuste, neurobiologiste de l'Université de Columbia à New York.

Pour bien comprendre la portée du débat et naviguer dans les arguments, commençons cette approche épistémologique en précisant les termes utilisés.

(1) ROURE F. (2006), *Industrial economics of nanotechnology: Hyperchoice and Milestones of the manufacturing world at the nanoscale. Contribution to the France-Stanford Foundation workshop on nanotechnology and ethics*, décembre.

(2) Audition du Professeur Thomas de Broucker, neurologue, Hôpital public Delafontaine, Saint-Denis. Référence à une cohorte de l'Hôpital Hôtel-Dieu AP-HP, Paris.

Petit lexique

Les neurosciences

Les neurosciences peuvent être définies comme l'ensemble des sciences et des disciplines qui étudient le système nerveux⁽³⁾, son fonctionnement et les phénomènes qui émergent de ce fonctionnement (tels que le langage, par exemple). Le potentiel ouvert par les nanosciences, qui a justifié des initiatives de recherches telles que Human Brain Initiative – Human Brain Project (HBP) qui s'inscrit dans le cadre du programme de recherche et développement H2020 de l'Union européenne, dont des équivalents existent aux États-Unis (BRAIN⁽⁴⁾ Initiative), au Japon (Brain/MINDS⁽⁵⁾) et dans d'autres pays, dépend pour sa concrétisation des nanotechnologies, des biotechnologies, de la nanométrie de précision atomique sur trois dimensions à laquelle s'ajoute la métrologie du temps (femtoseconde aujourd'hui, et vitesse d'une particule quantique⁽⁶⁾ demain). Les récepteurs dans les neurotransmetteurs des synapses de l'hippocampe ont une taille de 40 nanomètres...⁽⁷⁾ La justification publique première des investissements dans les neurosciences, outre l'augmentation des connaissances *per se*, est et reste la santé, même si, dans le même temps, des initiatives privées voient le jour pour maximiser et optimiser des neurotransmetteurs de synthèse en laboratoire à des fins commerciales.

Les recherches médicales en neurosciences visent à comprendre les troubles mentaux pour les soigner, y compris ceux liés au vieillissement. À titre d'exemple, le laboratoire Neurosciences Paris Seine (NPS) de l'Inserm réunit les spécialités suivantes :

- neurobiologie des maladies psychiatriques ;
- signalisation neuronale et régulations géniques ;
- plasticité gliale et neuro-oncologie ;
- développement et plasticité des réseaux neuronaux ;
- neurophysiologie et comportement ;
- réseaux corticaux de couplage neuro-vasculaire ;
- circuits pionniers et organisation de la moelle épinière ;
- circuits neuronaux et pathophysiologie des rythmes ;
- plasticité neurale et comportements reproducteurs ;
- dégénérescence et régénérescence axonales ;
- cervelet, navigation, mémoire ;
- adaptation comportementale et régulation génique.

Les neurotechnologies

L'OCDE définit les neurotechnologies comme les dispositifs et procédures utilisés pour accéder au fonctionnement ou à la structure des systèmes neuronaux de personnes na-

turelles et pour étudier le cerveau, l'évaluer, le modéliser, exercer une surveillance ou intervenir sur son activité⁽⁸⁾.

Wikipedia donne, quant à lui, la définition suivante : « la neurotechnologie désigne toute technologie ayant une influence fondamentale sur la matière dont sont compris le cerveau et ses fonctions supérieures, les différents aspects de la conscience et de la pensée. Elle inclut également les technologies visant à réparer, voire à améliorer le fonctionnement du cerveau, ainsi que celles qui permettent aux chercheurs et cliniciens de le visualiser. »

Les neurotechnologies sont exceptionnelles du fait de la relation étroite qui existe entre le cerveau et les capacités cognitives propres à l'identité humaine, l'agentivité⁽⁹⁾, en tant que prérequis à toute considération éthique, et l'aptitude à rendre compte, c'est-à-dire à assumer une responsabilité.

À titre d'illustration, une société nord-américaine⁽¹⁰⁾ commercialise un dispositif dont la promesse est de capturer la structure actuelle des ondes cérébrales⁽¹¹⁾ qui créent des anomalies dans le fonctionnement du cerveau, pour les réorganiser de la manière dont elles devraient se comporter afin de permettre au corps et à l'esprit de fonctionner correctement. Ce dispositif utilise la neuromodulation, le *neurofeedback*, l'entraînement à l'usage des ondes cérébrales, l'adaptation aux fréquences reçues, la cartographie du cerveau et la thérapie par impulsions électromagnétiques. Les entreprises Bellabee, Emotiv ou encore BrainCo et Neurable disposent d'offres commerciales en ce domaine. De grands groupes sont présents sur les segments de l'imagerie et des dispositifs médicaux, tels que General Electric, Siemens et Philips Healthcare.

Le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) a présenté, il y a quelques années, lors du Consumer Electronics Show de Las Vegas, son casque RELAX⁽¹²⁾ qui fonctionne lui aussi sur le principe de l'enregistrement de l'activité fréquentielle cérébrale et de l'émission d'ondes à des fins de *neurofeedback*, d'interface cerveau-machine et de suivi de la concentration mentale. Les applications du casque RELAX sont donc : le *neurofeedback*, ses applications fournissent à l'utilisateur un retour en temps réel de son état cérébral, et incluent le développement de techniques de gestion du stress ou encore l'amélioration du sommeil et de la qualité de vie ; l'interface cerveau-machine qui permet de contrôler et de gérer les objets par la pensée en lisant les signaux cérébraux émis

(3) Définition du Centre national de ressources textuelles et lexicales (CNRTL) : neuro, ou nervo, vient de nervure ; ici, neurones.

(4) BRAIN : *Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies*.

(5) Brain/MINDS : *Brain Mapping by Integrated Neurotechnologies for Disease Studies*.

(6) Résultat probabiliste avec une densité de probabilité reliée à la transformée de Fourier.

(7) Vidéo en ligne : <https://www.humanbrainproject.eu/en/>

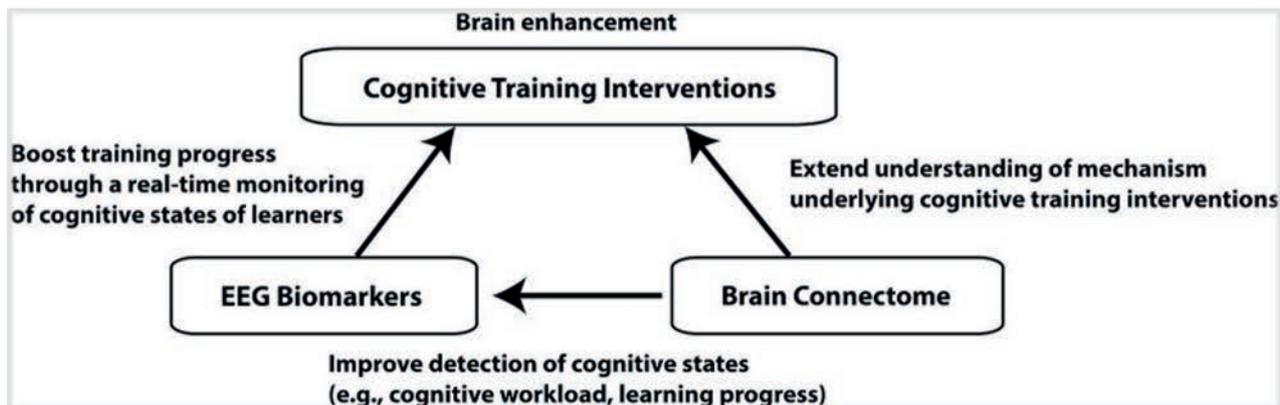
(8) GIORDANO J. (2012), *Neurotechnology premises, potential, and problems*, CRC Press. ; OECD (2017), <https://www.oecd.org/fr/sti/tech-emergentes/recommandation-innovation-responsable-dans-le-domaine-des-neurotechnologies.htm>

(9) L'agentivité, ou *agency*, peut être définie comme la capacité d'agir, la faculté d'action d'un être par opposition à ce qu'impose son environnement (structure de travail...).

(10) <https://www.bellabee.us/>

(11) "Bellabee is able to hack your current brainwave patterns they are causing brain anomalies and put them there where they should be. To enable your mind and body to work properly". La promesse est la modification à la demande des états mentaux. Source : www.bellabee.us

(12) <http://www.leti-cea.fr/cea-tech/leti/Pages/innovation-industrielle/Demonstrateurs/relax.aspx>



Source : "Brain enhancement through cognitive training: a new insight from brain connectome", *Frontiers in Systems Neuroscience*.

lors de pensées spécifiques, ses applications incluent la réalité virtuelle, les jeux vidéo et l'aide à distance pour les personnes handicapées *via* le contrôle des fonctions domotiques ; le suivi de la concentration mentale : le suivi de la concentration et du niveau d'attention dans des situations professionnelles à enjeux importants peut permettre de sauver des vies et de prévenir des catastrophes.

Selon le CEA, cette technologie certifiée « dispositifs médicaux » constitue un point de départ parfait pour des évolutions futures axées grand public, allant de dispositifs médicaux vers des applications de bien-être. Elle constitue le premier dispositif EEG (encéphalogramme) à fonctionner avec des électrodes sèches ; il permet de mesurer les ondes alpha hors du contexte clinique. Au-delà des dispositifs médicaux, le contrôle du trafic aérien et routier et des outils numériques d'apprentissage hautement efficaces figurent eux aussi parmi les nombreuses applications des technologies de *neurofeedback*, qui sont, par exemple, largement diffusées dans le domaine des transports en Chine.

La neuro-éthique

La neuro-éthique⁽¹³⁾ peut être définie comme l'éthique des neurosciences et des neurotechnologies. À défaut de lire dans notre fonctionnement cérébral notre futur, des usages ciblés permettent de le modifier, de le moduler et de l'influencer. Cette capacité nouvelle questionne d'abord les finalités, ensuite les avantages au regard des inconvénients et, enfin, interpelle le cadre normatif. Elle a fait l'objet de travaux dans des cadres gouvernementaux (US-NIH – *Brain Initiative Neuroethics Working Group*, par exemple), européens (volet éthique de l'initiative HBP/Human Brain Project estimée à 1,19 milliard d'euros sur 10 ans), non gouvernementaux (groupe Morningside) et académiques (*NeuroRights Initiative* de l'Université de Columbia⁽¹⁴⁾, 2019). Une liste de questions neuro-éthiques visant à guider l'éthique des programmes de recherche en neurosciences a été éditée par le journal *Neuron*⁽¹⁵⁾. Une interrogation porte en particulier sur l'identification des innovations qui pourraient, en dehors

des laboratoires, être considérées comme des mésusages ou, *a contrario*, de meilleures pratiques...

L'innovation responsable

L'innovation responsable est à l'origine de la recommandation de l'OCDE sur les neurotechnologies. Elle est définie par René Von Schomberg⁽¹⁶⁾ comme : "a transparent, interactive process by which societal actors and innovators become mutually responsive to each other regarding the ethical acceptability, sustainability and social desirability of the innovation process and its marketable products". C'est un sujet de recherche en soi (voir les travaux de l'Université de Montréal⁽¹⁷⁾). Le groupe Éthique et société du projet de recherche européen sur le cerveau humain (HBP) a émis, notamment, une opinion et des recommandations⁽¹⁸⁾ relatives aux domaines politique, de sûreté, du renseignement et militaire des recherches en neurosciences et en neurotechnologies, ayant des applications duales, de façon que le programme européen de recherche encourage la recherche et l'innovation responsables en vérifiant que sa mise en œuvre contribue à la paix, à la sécurité et au bien-être des populations.

À cet égard, la recherche de l'augmentation des performances cognitives par le recours aux nouvelles neurotechnologies, tel que représenté⁽¹⁹⁾ ci-dessus, a bien été identifiée par des sociologues, comme Francis Chateauraynaud, comme l'un des conflits sociétaux en puissance qu'une telle finalité comporterait.

Après cette introduction au sujet, nous allons consacrer la première partie de cet article à l'univers des questions

(16) <https://renevonschomberg.wordpress.com/from-responsible-development-of-technologies-to-responsible-innovation/>

(17) DAUDELIN Geneviève, DENIS Jean-Louis, GAUTHIER Philippe et HAGEMEISTER Nicola, « Pourquoi et comment sont conçues les innovations responsables ? Résultats d'une méta-ethnographie », <https://www.cairn.info/publications-de-Pascale-Lehoux--110651.htm>

(18) "Opinion on Responsible Dual Use", Human Brain Project, 2018, https://sos-ch-dk-2.exo.io/public-website-production/filer_public/77/61/7761fdcd-b0a0-40a2-a6bd-904d68d52b87/opinion_dual_use_hbp_ethicssociety.pdf

(19) TAYA Fumihiko, SUN Yu, BABILONI Fabio, THAKOR Nitish & BEZERIANOS Anastasios, "Brain enhancement through cognitive training: a new insight from brain connectome", *Frontiers in Systems Neuroscience*, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4381643/>

(13) Hervé Chneiweiss, président du comité d'éthique de l'Inserm, <http://www.implications-philosophiques.org/actualite/une/les-neurosciences-face-a-lethique-questions-dactualite/>

(14) <https://nri.ntc.columbia.edu/content/our-story-0>

(15) [https://www.cell.com/neuron/fulltext/S0896-6273\(18\)30823-7](https://www.cell.com/neuron/fulltext/S0896-6273(18)30823-7)

épistémologiques soulevées par les applications médicales et non médicales des neurosciences et techniques. La seconde partie sera dédiée à la réponse intergouvernementale proposée par l'OCDE à ses pays membres comme à ses partenaires et observateurs gouvernementaux et non gouvernementaux.

Épistémologies des neurotechnologies

En matière de neurosciences et de neurotechnologies, la question épistémologique se pose en double miroir :

- elle prétend engager une réflexion sur la connaissance et le besoin inextinguible des êtres humains de satisfaire leur curiosité par l'extension du domaine des connaissances du cerveau ; à ce titre, l'épistémologie génétique consiste en l'étude de l'évolution des structures successives des connaissances au cours du développement cognitif de l'individu, évoluant, selon Jean Piaget, vers toujours plus d'aptitude à l'abstraction, pour aller jusqu'à la pensée scientifique⁽²⁰⁾;
- elle est d'emblée confrontée aux limites de la compréhension du processus réflexif, qui est le propre des capacités cognitives humaines : un processus de métacognition (connaissance sur la connaissance), qui s'exprime par la conscience, notamment la conscience de soi, dans ses acceptions matérialistes et morales, voire éthiques, mais aussi, plus récemment, dans sa dimension biophysique (voir "Towards a cognitive neuroscience of self-awareness"⁽²¹⁾). La question épistémologique traite alors de l'exploration de ce processus réflexif comme objet scientifique en lui-même. Elle est dans ce cas sujette au biais classique de l'interférence entre l'observation et le sujet observé, à ceci près que le processus d'observation lui-même entre dans le champ de la recherche. Avec le risque croissant d'une possibilité de la violation ultime de l'intimité, celle de la pensée⁽²²⁾, qui constitue, *per se*, une interpellation critique de la responsabilité du chercheur.

À tout défi systémique de la complexité, une réponse peut être tentée : la fragmentation du problème en sujets isolables, au moins dans un premier temps. Pour l'exercice des responsabilités institutionnelles, une priorité peut être proposée : le centrage de l'exploration sur les effets des neurosciences et des neurotechnologies, dès lors qu'elles s'inscrivent dans une dynamique portée par l'innovation et les technologies qui la sous-tendent.

Les principales questions épistémologiques soulevées par les neurosciences et les neurotechnologies constituent l'interpellation éthique de l'innovation en ce domaine. Appréhendées à partir de leurs effets, ces questions sont abordées ci-après, par référence à la grille de lecture

exprimée par le Professeur Jean-Pierre Dupuy, théoricien du catastrophisme éclairé.

Les effets des neurosciences et des neurotechnologies sur les relations de domination, ou effets de pouvoir

En ce domaine, deux angles de lecture se présentent :

- **Le pouvoir de marché** qui conquiert les sphères du consentement par grandes catégories, des marchés de biens à ceux de l'opinion : *neuromarketing* « à tous les étages » pour orienter la pensée humaine dans le sens voulu, et maximisation de l'acceptation de la proposition⁽²³⁾, fût-elle économique, politique, spirituelle, etc., par algorithmique, données massives et intelligence artificielle ; le profilage de la personne dans toutes ses dimensions cognitives, ATAWAD⁽²⁴⁾, étant devenu la norme, nonobstant le Règlement général sur la protection des données (RGPD). En ce domaine, Edward Bernays a été, avec ses œuvres *Propaganda* et *Engineering of Consent*, un précurseur, et il est heureux que les Joseph Goebels et consorts, de sinistre mémoire, n'aient pas disposé, pour conforter le joug du nazisme, de pareilles armes mentales de masse (voir l'expression « Mentalics » forgée en 1953 par Isaac Asimov⁽²⁵⁾, signifiant l'arme ultime au service de l'influence, avec son arsenal *psychotronique* contemporain).

- **Le pouvoir de l'homme sur l'homme**, par influence de l'humeur, de la sensation de plaisir et de récompense, ou de douleur et de punition, etc. Poussé à l'extrême, ce pouvoir produit l'asservissement décrit par Jordi Vidal dans son œuvre *Servitude et Simulacre*⁽²⁶⁾, où l'idée même de la raison de la révolte ou de la rébellion s'efface au regard des potentiels de contrôle de la pensée. Ce pouvoir, d'apparence douce, s'appuie sur les phénomènes neurologiques documentés de l'addiction. Ainsi, les individus sur lesquels une stimulation profonde et ciblée du cerveau est exercée, par exemple dans le cas de traitements de confort des parkinsoniens, en demandent, telle une drogue, toujours plus, jusqu'à ce qu'un changement durable de personnalité les rende méconnaissables pour leurs proches. Une variante se trouve dans les sports compétitifs de très haut niveau, où, à défaut de substances non autorisées, la stimulation et l'entraînement cognitifs confèrent des avantages comparatifs décisifs. Le pouvoir de l'homme, intermédié par les neurotechnologies, sur son prochain est alors renforcé par une demande inextinguible fondée par la recherche de la récompense...

Ces neurotechnologies, qui passent par la modulation de fréquences électromagnétiques et/ou acoustiques ou l'usage de l'électricité, sont aussi utilisées, hors des domaines de la santé et de la compétition, pour satisfaire des objectifs de bien-être, de prévention de la dépression, etc.

(20) Voir le dossier ENS Lyon « Veille et Analyse » n°86, septembre 2013, « Neurosciences et éducation : la bataille des cerveaux », <http://veille-et-analyses.ens-lyon.fr/DA-Veille/86-septembre-2013.pdf>

(21) LOU H. C., CHANGEUX J.-P. & ROSENSTAND A. (2017), "Towards a cognitive neuroscience of self-awareness", *Neuroscience and Behavioral Review*, Elsevier, pp. 765-773.

(22) Adrien Peyrache, neuroscientifique, Université McGill, Canada, <https://www.larecherche.fr/chronique-neurosciences-id%C3%A9es-neurotechnologies-la-prochaine-revolution-industrielle>

(23) C'est la finalité et la source du modèle économique du marché du *Nudge*, perversif, c'est-à-dire des suggestions visant à influencer un comportement.

(24) ATAWAD : anytime, anyway, any device (en tout temps, par tout canal et tout support).

(25) "Mentalics", ou la capacité de lire et de façonner les pensées d'autrui. In *Second Foundation*, Bantam Spectra, 1953.

(26) VIDAL Jordi (2007), « Servitude et Simulacre », Éditions Allia, août.

Les effets des neurosciences et neurotechnologies et des innovations associées sur le rapport à la nature, ou effets ontologiques

Il s'agit ici de la transformation du rapport des êtres humains à la nature, et de leur vision évolutive de celle-ci. Sur fond de sixième extinction des espèces vivantes et d'anthropocène, la notion de transgression elle-même devient impertinente. Le programme métaphysique de la recherche dans les technologies avancées et convergentes est promu par ses puissants soutiens comme l'unique voie de salut par le contrôle, la maîtrise des algorithmes, dont la finalité est la création d'une nature « artificielle », produite comme artefact par l'homme et selon sa volonté.

De l'intelligence artificielle à la vie artificielle, il n'y a qu'un pas, déjà franchi. Les programmes de recherche en sciences du cerveau, qui se sont généralisés en tant que priorités, *flagships*, etc., incluent la recherche de performances physiques disruptives, singulières, telles que l'optimisation *in vitro* de la vitesse et de la quantité des informations transmises entre neurones artificiels plongés dans une soupe énergétique elle-même artificielle.

Le rapport à la nature va s'en trouver changer de manière irréversible, quant à la liberté de penser, de se représenter, de réfléchir, d'orienter, de prioriser les temporalités et les espaces, etc. « Nous penserons demain comme des machines », puisque seule l'optimisation guide les innovations. Par conséquent, les êtres humains, dont la relation à la mémoire et, de ce fait, à l'histoire, aura été modifiée, n'auront plus accès à des concepts tels que l'incommensurable, pourtant majeur pour anticiper et se préparer à des catastrophes systémiques engageant la survie de l'espèce humaine sur Terre.

Cependant, la nature naturelle a besoin de redondances pour être résiliente. Sans redondance, l'effondrement systémique est proche.

Les effets épistémiques des innovations neurotechnologiques, c'est-à-dire sur le rapport à la connaissance

Bien cernés pour les nanotechnologies et les biotechnologies industrielles, les effets épistémiques des innovations neurotechnologiques restent un champ à explorer ; ils se présentent comme incommensurables quant à l'aptitude, la manière et la liberté de penser, de raisonner, et partant de connaître et de transmettre.

Les nanotechnologies ont ouvert la voie à l'ingénierie et à la substitution d'artefacts vivants aux organismes naturels. L'un des fondateurs du Beijing Genomics Institute (BGI) s'était exclamé en 2011 devant la réunion de trois académies des sciences (américaine, britannique et chinoise) autour du sujet de la biologie de synthèse : « le code du vivant a 4 milliards d'années, il est temps de le réécrire ». C'est l'aboutissement de la « nouvelle science » introduite par Giambattista Vico en 1725 autour de la locution *Verum et factum convertuntur* : « le vrai et le faire sont convertibles ». Il ne sera plus utile d'expérimenter pour connaître ; la préférence ira à ce que les scientifiques auront fait, « de toute pièce », en recombinaison à l'infini les particules élémentaires, les molécules, l'ADN, plutôt que

de chercher à décoder la nature dans ses méandres systémiques biologiques.

Cette évolution est d'ores et déjà à l'œuvre, avec le recrutement massif de *data scientists* et autres bio-informaticiens dans les laboratoires, avec le triomphe annoncé de l'ingénieur, celui dont la finalité est l'optimisation dans un but qui lui est assigné, sur le savant dont la finalité est la connaissance, et le triomphe de l'invention, brevetable et donc monnayable, sur la découverte, d'intérêt universel et, par voie de conséquence, ouverte en accès comme en transmission. Elle concerne les sciences du cerveau, parce que l'usage « hors corps » des facultés cognitives (capture, mémoire, stockage, restitution d'informations à la demande), c'est-à-dire dans des machines apprenantes, s'apprête à connaître un essor disruptif dans le sens où il accélèrera l'obsolescence de l'homme au travail.

En couplant ces usages avec le stockage d'informations par l'ADN, d'une part, et l'informatique quantique, d'autre part, le champ des innovations rendues possibles par cette convergence dépasse déjà l'entendement humain. Il est donc doublement incommensurable, par notre inaptitude à le mesurer, et par l'inaptitude cognitive humaine à en saisir le *cône d'expansion* multi-domaines, dans le temps.

Les effets des neurotechnologies sur la possibilité même de penser l'éthique, ou effets méta-éthiques

Parce qu'elles s'appliquent à la partie cognitive du système nerveux, les neurosciences, en tant que techniques, et leurs innovations ont un effort supplémentaire à faire en matière d'éthique : établir des réponses à l'épistémologie de l'éthique, ou méta-éthique, afin de contenir par la finalité, la volonté, l'esprit de responsabilité, toutes les dérives qui viseraient à contester à l'être humain sa dignité, son autonomie, sa liberté d'expression et sa liberté même de conscience, dans le processus réflexif qui le caractérise.

Cependant, l'élargissement du champ de l'éthique vers la méta-éthique risque de compromettre à terme la possibilité même d'adopter une démarche éthique. En effet, l'usage massif des neurotechnologies dans les technologies immersives, dès le plus jeune âge, est susceptible d'avoir un effet irréversible sur le psychisme par l'évolution des langages et des vecteurs multi-sensoriels⁽²⁷⁾ ; avec une certitude, c'est qu'il nous est globalement méconnu et qu'il va modifier profondément notre manière de penser l'éthique. L'éthique même est ce degré de conscience humaniste qui pourrait garantir l'espèce humaine contre le risque d'ingénierie et de mécanisation, alors que la société demande une innovation neurotechnologique responsable pour ses effets sur le cerveau humain, au regard de l'intégrité de l'espèce humaine, de sa récupération et du maintien de fonctions essentielles à sa dignité, telles que l'indisponibilité de sa personnalité par rapport à autrui.

(27) Voir l'ouvrage de McLuhan Marshall, *The Gutenberg Galaxy: The Making of Typographic Man*, University of Toronto Press, 1962.

Les effets métaphysiques des neurotechnologies portant sur la pérennité des distinctions catégorielles qui fournissent ses repères à l'humanité

Lorsque le naturel, vivant et non vivant, et l'artefact sont en bonne voie de fusionner, comment imaginer qu'au bout de deux générations, il soit encore possible de faire la différence entre eux, voire même de penser la distinction ? La représentation mécaniste, optimisable et informationnelle des facultés cognitives et de la nature, *via* les nano-biotechnologies (édition génomique ou *gene editing* ou le forçage génétique ou *gene drive*, tous deux banalisés dans toutes les espèces) rendra obsolètes ces catégories de naturel vivant et d'artefact. Le fait même de penser et de conserver l'incertain ou l'indéterminé, propre à la redondance des différentes fonctionnalités biologiques, sera perçu comme un danger à éviter à tout prix. Les exemples de choix sur catalogue de caractéristiques génétiques qui se sont multipliés dans les cliniques privées du Japon ou de la Californie en témoignent, et vont se généraliser avec la PMA pour tous, d'une part, et la désirabilité construite des technologies « sans contact », d'autre part.

Il s'agit là d'un effet métaphysique de portée telle que la question de la responsabilité des scientifiques, des entreprises et des gouvernements a été directement posée au niveau intergouvernemental, pour ce qui est des applications civiles innovantes des neurotechnologies, qu'elles apparaissent dans les domaines de la santé, du confort, de la sécurité ou de l'augmentation compétitive des performances cognitives.

La question de la responsabilité institutionnelle et la réponse de l'OCDE sur l'innovation responsable dans le domaine des neurotechnologies

Adoptée le 11 décembre 2019, la recommandation n°457 du Conseil des ministres de l'OCDE sur l'innovation responsable dans le domaine des neurotechnologies ⁽²⁸⁾ est devenue un instrument juridique légal de cette organisation intergouvernementale.

Non contraignante, mais pouvant servir de référence en matière de droit, elle constitue la première norme internationale dans ce domaine. Sa *finalité* est « de parvenir à une innovation responsable dans le domaine des neurotechnologies au service de la santé ». Elle a pour ambition pratique d'aider les pouvoirs publics et les innovateurs à anticiper et à affronter les défis éthiques, juridiques et sociaux que font naître les nouvelles neurotechnologies, tout en assurant la promotion de l'innovation dans ce domaine.

Elle valorise la diversité culturelle dans l'approche du cerveau et de l'esprit et valorise l'approche délibérative par l'inclusion de tous les acteurs concernés.

Elle a été préparée par le groupe de travail Biotechnologies, nanotechnologies et technologies convergentes du Comité de la politique scientifique et technologique de cette organisation intergouvernementale, dans le cadre de son mandat 2015-2020. Après trois ans de négociations

internationales qui ont associé de nombreuses parties prenantes lors de quatre conférences internationales qui se sont tenues aux États-Unis (Washington DC en 2016 et 2017), en Chine (Shanghai en 2018) et en Europe (Paris – Collège de France en 2019).

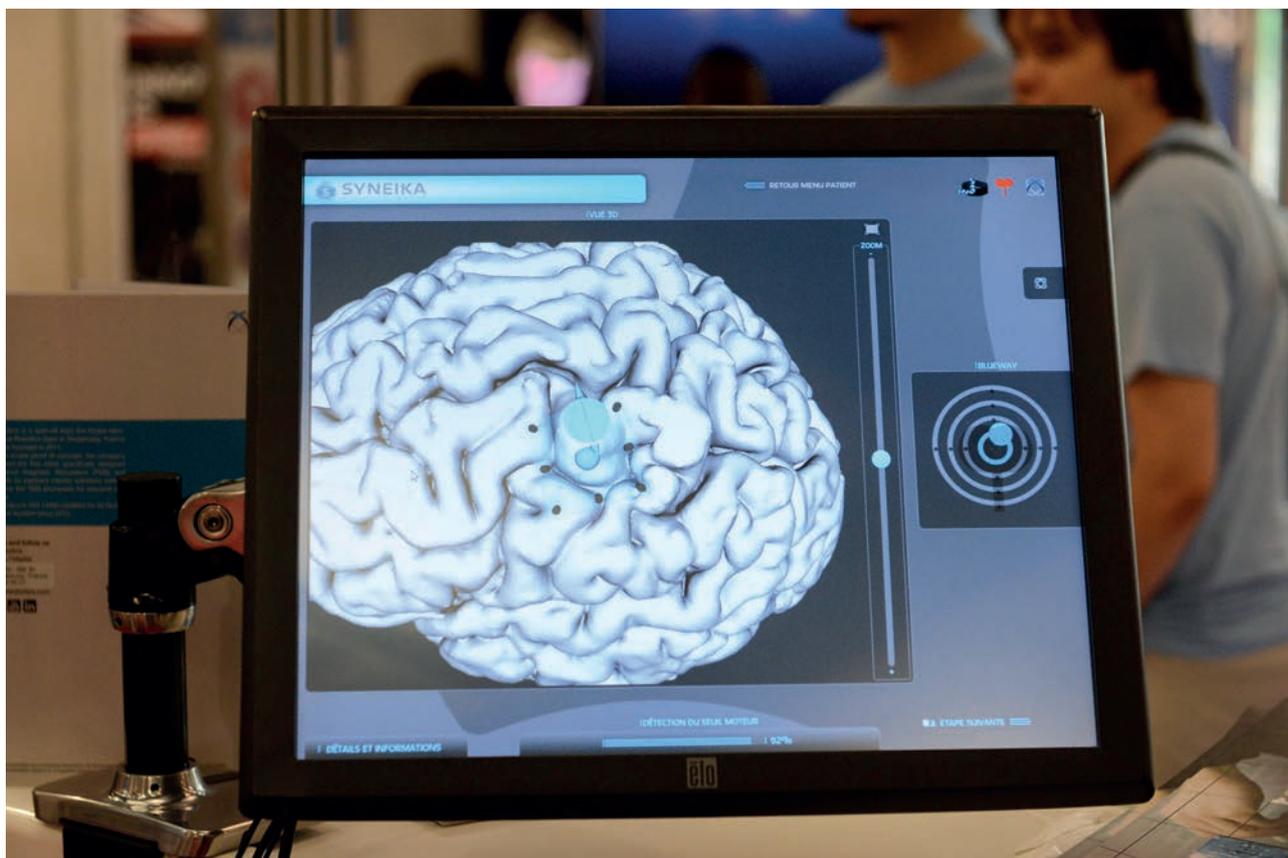
Les nouvelles neurotechnologies recèlent un potentiel immense en termes d'amélioration de la santé et du bien-être, et de croissance économique, dans des environnements cliniques et non cliniques, avec à la clé des promesses d'amélioration de la santé mentale, du bien-être et de la productivité. Elles s'appuient sur la science des données, la bio-ingénierie, les technologies de l'information et de la communication, et l'intelligence artificielle pour le traitement des données massives et les modèles prédictifs.

Des offres commerciales sont d'ores et déjà disponibles, avec des développements de marché liés à des promesses qui vont du *neuromarketing* au traitement du déficit d'attention et d'apprentissage, avec l'augmentation des performances notamment en termes de résistance, une prévention accrue de la dépression et l'amélioration du traitement du stress, dont le stress post-traumatique, et des troubles du sommeil, de l'autisme, des déficits liés aux maladies de Parkinson et d'Alzheimer...

La recommandation souligne aussi les risques qui vont de pair avec les nouvelles opportunités, qu'il s'agisse du domaine de la santé ou des applications non médicales. **Elle établit neuf principes d'action** que les pays membres de l'OCDE, partenaires (dont la Chine) et observateurs sont appelés à mettre en œuvre :

- 1 - promouvoir une innovation responsable dans le domaine des neurotechnologies afin de relever les défis en matière de santé ;
- 2 - donner la priorité à l'évaluation de la sécurité dans le développement et l'utilisation des neurotechnologies ;
- 3 - promouvoir l'inclusivité des neurotechnologies au service de la santé ;
- 4 - favoriser la collaboration scientifique en matière d'innovation dans les neurotechnologies entre les pays, les secteurs et les disciplines ;
- 5 - favoriser les débats sociétaux sur les neurotechnologies ;
- 6 - développer les capacités des organismes de surveillance et des organes consultatifs en charge des problématiques nouvelles liées aux neurotechnologies ;
- 7 - protéger les données cérébrales personnelles et les autres informations obtenues à l'aide des neurotechnologies ;
- 8 - promouvoir une culture de la gestion responsable et de la confiance dans les neurotechnologies dans les secteurs public et privé ;
- 9 - anticiper et surveiller les éventuels usages non intentionnels et/ou abusifs des neurotechnologies (notamment anticiper et faire obstacle aux activités ayant pour but d'influer sur les processus décisionnels des individus ou des groupes en limitant volontairement leur liberté et leur autodétermination au moyen, par exemple, d'une surveillance intrusive, d'une évaluation sans consentement préalable ou de la manipulation de l'état et/ou du comportement mental).

(28) Document OCDE/LEGAL/0457.



Développement par Axilum Robotics d'un robot d'assistance qui permet d'automatiser la stimulation magnétique transcrânienne (TMS), une technique non invasive et indolore utilisée notamment dans le traitement de la dépression.

« Les nouvelles neurotechnologies recèlent un potentiel immense en termes d'amélioration de la santé et du bien-être, et de croissance économique, dans des environnements cliniques et non cliniques, avec à la clé des promesses d'amélioration de la santé mentale, du bien-être et de la productivité. »

Ces principes d'action résultent de la convergence des opinions autour de principes de neuro-éthique qui établissent que la recherche et l'innovation responsables ne sont pas seulement une question de sécurité des usages (ne nuire à personne), mais sont également celle de la capacité de rendre compte, d'une responsabilité assumée (*accountability*).

Quelques pistes de recherche

Au regard des défis systémiques soulevés par les questions épistémologiques liées aux neurosciences et aux neurotechnologies, une approche multidisciplinaire, scientifique, de ces questions gagnerait à explorer de multiples axes. Les politiques publiques auraient tout intérêt à être fondées, dans ce domaine, sur l'intégrité scientifique, sur une orientation des travaux qui tienne compte des besoins exprimés par le tiers état de la recherche, de la valorisation du doute et de la preuve.

En guise de conclusion, quelques pistes susceptibles de susciter une appropriation par les sciences humaines et sociales et par les sciences dites « dures », sont listées ci-après :

- La connaissance de l'état de l'art scientifique et de la vision dynamique des programmes de recherche publics

et privés, civils et militaires. Cela inclut l'étude de l'évolution provoquée par les neurotechnologies de la relation du corps humain à la connaissance et à ses modifications (par les artefacts matériels et psychiques du corps humain et par le concept même de connaissance). Entrent dans ce champ l'activité des neurones et de la neurotransmission, la formation, la connexion et la biologie des cellules nerveuses, les codes de la perception sensorielle et les commandes motrices, les représentations cérébrales et les états mentaux, la compréhension des comportements, de la motivation, de l'intentionnalité, les bases neurales de la cognition⁽²⁹⁾, les états de conscience et de conscience de soi, les déterminants de l'humeur et de la personnalité.

- La compréhension des effets de portée et d'amplitude de la convergence des technologies à capacité disruptive, transformationnelle dans ce domaine par la prise en compte des technologies transversales telles que les nanotechnologies appliquées au vivant (biologie de synthèse, notamment) et l'intelligence artificielle appliquée au traitement des données massives.

(29) Par exemple, le projet de recherche MINICOG : <https://anr.fr/Projet-ANR-13-BSV4-0004>

- L'anticipation des controverses et des conflits issus de l'augmentation sélective des capacités cognitives, et ce par une évaluation des risques de toute nature et des méta-risques liés aux dispositifs, aux usages et aux mésusages des nouvelles neurotechnologies, par la perception de ces risques et l'appréciation de l'écart entre celle-ci et la réalité. Les questionnements et les résultats seront utilisables à des fins de prospective et de politiques publiques portant sur l'évaluation des risques (dangerosité, exposition), au regard des bénéfices attendus notamment dans le domaine de la santé.
- La valorisation de la co-construction des connaissances par l'usage des neurotechnologies dans l'économie de la connaissance, et les questions de propriété intellectuelle se rapportant aux inventions, voire aux découvertes. La question des limites est ici posée.
- L'identification de la complexité en termes de conception, de production et d'usage des nouvelles neurotechnologies, laquelle se concrétise par le recours à des systèmes cyber-physiques et sociaux au cœur des dispositifs techniques, médicaux ou non, par des neuroprothèses, des interfaces cerveau-machine, avec des finalités du type augmentation de l'attention et des performances grâce à l'apprentissage, notamment.
- Pour la neuro-éthique, questionner la finalité des usages et les dérives potentielles (approches sécurité et sûreté incluses), en utilisant par exemple la méthode des corpus linguistiques et des cartes mentales des acteurs concernés.
- Rechercher et établir des positions dominantes et dynamiques de marché sur les segments critiques des neurotechnologies, au travers d'une étude de la concentration des acteurs et des ressources issues de la propriété intellectuelle, ainsi que des finalités et des modes de régulation à l'œuvre aux plans national, européen et international.
- Investir le champ de l'interaction entre innovation, normalisation et compétitivité en matière de dispositifs neurotechnologiques, en étudiant l'usage de la normalisation en neurotechnologies, ses finalités, ses conflits et ses conquêtes.
- L'effet des neurosciences et techniques associées sur les capacités opérationnelles de production de biens et de services civils, militaires et duaux, un effet qui peut être exploré sous différents angles :
 - l'IA appliquée à l'intelligence humaine, système de simulation ou système de substitution au point de singularité ; dépassement des capacités cognitives humaines par celles de la machine (voir le programme informatique AlphaGo, l'insertion de l'IA dans les délibérations des conseils d'administration, la capacité résiduelle de s'y opposer) ;
 - la durabilité des effets en termes de capacités cognitives, voire leur transmission héréditaire ;
 - la question de la réversibilité, s'agissant de la structu-

ration neuronale des cerveaux humains avant l'âge de 15 ans et, ensuite, à l'heure des macro-systèmes banalisés des technologies de communication sans fil ;

- l'incertitude sur les effets des neurotechnologies (interfaces cerveau-machine en univers de macro-systèmes psycho-actifs par agents chimiques ou physiques, tels que les radiofréquences et les ondes acoustiques) sur les mœurs, la liberté de penser, la critique politique, et le droit des humains à vivre en toute dignité : autonomie, non atteinte à l'identité, à la personnalité, au respect de la vie privée⁽³⁰⁾, justice sociale et non-discrimination, consentement éclairé... La liberté cognitive⁽³¹⁾ est un sujet fondamental de recherche en philosophie, en psycho-sociologie, en droit ;

- les évolutions en termes de responsabilité individuelle et collective, y compris au sens juridique du terme : quel usage des « empreintes cérébrales » ?, acquisition de données électro-physiologiques⁽³²⁾, quelle finalité pour les enregistrements ciblés d'activités cérébrales, l'imagerie par IRM, l'usage des ondes électromagnétiques et acoustiques, des ondes non ionisantes... (voir les articles concernés de loi bioéthique et les discussions de celle-ci) ? ;

- l'effet disruptif sur les armes du futur, avec l'omniprésence *pervasiv*e et diffusante et la dominance acquise par la maîtrise du segment cognitif, en plus de celui des réseaux porteurs (nouveaux vecteurs des guerres et opérations « psy » sur divers théâtres) ;

- l'existence et la qualité de la gouvernance à chaque échelon de subsidiarité, du local au global. Utilité de concepts de type : *Anticipatory, Science-based Governance, Systemic Thinking inspired Governance...* ;

- en droit national et international, revue des dispositifs contraignants et/ou incitatifs de type Chartes et évaluation du degré de transparence et d'opérationnalité de ceux-ci, légitimité ou non de l'usage de la force pour encadrer strictement les usages offensifs de l'innovation neurotechnologique par assurer le respect de neuro-droits humains qui seraient ainsi garantis.

Il est maintenant de la responsabilité des parties prenantes de se saisir de l'opportunité ouverte par la loi de programmation de la recherche, dans sa dimension nouvelle « science pour la société », en investissant tout le champ des questions épistémologiques ouvertes par les avancées technologiques et scientifiques de la connaissance du cerveau humain et de l'interaction avec celui-ci.

(30) YUSTE Rafael, GOERING Sara *et al.* (2017), "Four ethical priorities for neurotechnologies and AI", *Nature* 163, vol. 551, 9 november, <https://www.nature.com/articles/551159a.pdf>

(31) https://en.wikipedia.org/wiki/Cognitive_liberty

(32) Voir l'Appel Flash Science ouverte de l'ANR, projet ShareElec : <https://anr.fr/fr/lanr-et-la-recherche/engagements-et-valeurs/la-science-ouverte/les-projets-laureats-de-lappel-flash-science-ouverte/projet-shareelec/>