

Université de Montréal

**Le concept de double-usage de la recherche : un outil
diagnostique de l'analyse éthique des risques associés aux
usages neuroamélioratifs de la recherche en neurosciences**

par

Nathalie Voarino

Département de médecine sociale et préventive

École de santé publique

Mémoire présenté à l'École de santé publique

en vue de l'obtention du grade de Maîtrise

en Bioéthique

Juillet, 2015

© Voarino, 2015

Résumé

Les technologies de stimulations transcrâniennes – tel que la tDCS ou la TMS – présentent à l’heure actuelle d’intéressantes perspectives thérapeutiques, tout comme diverses améliorations cognitives chez le sujet « non-malade » dont découlent des applications neuroamélioratives, plus ou moins imminentes, en dehors du cadre clinique ou investigatoire. Est proposé ici d’analyser les risques associés à ces applications, détournées des objectifs premiers de recherche, et aux préoccupations éthiques qui les accompagnent (autonomie, justice, intégrité physique), *via* un concept généralement associé aux recherches avec des perspectives de sécurité nationale et associées à un niveau de risque élevé. Révisant la trivialité d’une définition dichotomique aux usages « bons » et « mauvais », est proposé d’étendre le concept de « double-usage » pour l’appliquer à la neuroamélioration comme un mésusage de la recherche en neurosciences. Faisant référence au conflit entre, d’une part, le respect de la liberté académique et, d’autre part, la protection de la sécurité et de la santé publique, ce concept s’avère être un outil diagnostique pertinent pour l’évaluation des risques associés à l’usage mélioratif desdites technologies, et plus particulièrement de la tDCS, afin d’alimenter la réflexion sur la régulation de ces dispositifs en amont de leur utilisation, selon un principe de précaution inhérent au double-usage de la recherche. Ce concept permet ainsi de réfléchir à la mise en place d’une gouvernance proactive et contextualisée impliquant une responsabilité partagée d’un large panel d’acteurs, nécessaire au vu des avancées rapides du domaine des neurosciences et de l’imminence de l’arrivée sur le marché de ces dispositifs.

Mots-clés : double-usage, neurosciences, neuroamélioration, éthique, tDCS, stimulation transcrânienne

Abstract

Transcranial stimulation technologies – such as tDCS and TMS – currently provide promising therapeutic outcomes, as well as various cognitive improvements in healthy individuals, leading to different and relatively prospective neuroenhancement applications outside clinical or research contexts. In this thesis, a concept that has typically been associated with research regarding national security implications and prospects associated with a high level of risk – i.e., the concept of “dual-use” – will be deployed to analyze the risks of neuroscience applications being diverted from their primary research objectives, along with the related ethical concerns (e.g., autonomy, justice, physical integrity). By revising the dichotomous definition of dual-use research as involving either ‘good’ or ‘bad’ uses, I propose to extend the concept in order to consider neuroenhancement as a misuse of neuroscience research, with reference to the conflict between, on the one hand, protecting academic freedom and progress, and on the other, promoting security and public health. This concept is a pertinent diagnostic tool for the evaluation of risks associated with a neuroenhancement use of those technologies – and more especially tDCS – when considering how best to regulate these devices prior to the appearance of their utilisation, due to the precautionary principle inherent in dual-use research. This concept can also help to set out proactive and contextualized governance mechanisms based on the shared responsibility of a broad range of stakeholders, something that is necessary given the rapid advances in neuroscience research and the imminence of such devices coming onto the market.

Keywords : dual-use research, neurosciences, neuroenhancement, ethics, tDCS, brain stimulation

Table des matières

Résumé	ii
Abstract	iii
Table des matières	iv
Liste des sigles et abréviations	vi
Remerciements	viii
Avant-Propos	ix
Introduction	1
« Neuroamélioration » ou « neuroenhancement » : quelques définitions.....	2
De nouvelles technologies aux potentielles perspectives neuroamélioratives.....	4
Le concept de double-usage : un outil éthique pour l'analyse des enjeux de la neuroamélioration ?	8
Structure du mémoire.....	12
Approche et limites de la recherche.....	14
Chapitre 1 : Ouvrir le concept de double-usage de la recherche en neurosciences aux perspectives neuroamélioratives	16
Un double-usage « traditionnel » de la recherche en neurosciences	17
<i>Les neurosciences au service de la sécurité nationale</i>	19
<i>Risques et enjeux éthiques de ce « mésusage »</i>	23
Ouvrir le concept de double-usage	25
<i>Tempérer la dichotomie des usages militaires « néfastes » et thérapeutiques « bénéfiques »</i>	25
<i>Un « neurohype » qui ouvre la porte à de nombreuses recherches à double-usage</i>	29
<i>La neuroamélioration comme un mésusage de la recherche en neurosciences ?</i>	31
Les technologies de stimulations transcrâniennes et leur dilemme.....	36
<i>Des stimulations prometteuses</i>	36
<i>Des usages potentiellement problématiques</i>	42
Prévenir et spéculer : ouvrir raisonnablement le concept.....	46
Conclusion	51
Chapitre 2 : Opérationnalisation du concept de « double-usage »: application à la mise sur le marché de neurostimulateurs	54
Stimulations électriques « maison » : la vente en ligne et la fabrication de neurostimulateurs comme un mésusage de la recherche.....	55
<i>La tDCS comme grande gagnante des préoccupations imminentes</i>	55
<i>Une technologie de recherches à double-usage</i>	59
<i>Définir un mésusage</i>	62
Le concept de double-usage : un outil diagnostique en amont de l'encadrement	66

<i>L'approche d'analyse en fonction du risque</i>	66
<i>La tDCS en dehors du cadre clinique et investigatoire : risques et enjeux éthiques potentiels</i>	68
<i>Un enjeu de santé publique</i>	74
Gouvernance de l'utilisation privée de la tDCS	81
<i>Des lacunes dans l'encadrement</i>	81
<i>Régulations en « pour-parler »</i>	83
<i>À qui revient la responsabilité de l'évaluation du risque ?</i>	87
Conclusion	92
Conclusion	94
La neuroamélioration, mésusage de la recherche en neurosciences	94
Vers une responsabilité partagée	97
Bibliographie	103

Liste des sigles et abréviations

APA : American Psychological Association

AVC : Accident vasculaire cérébral

BCIs : Brain-computer interfaces

BDNF : Brain-Derived Neurotrophic Factor

BTBIs : Brain-to-brain interfaces

BTWC : Biological and Toxin Weapons Convention

CCNE : Comité Consultatif National d'Éthique

DARPA : Defense Advanced Research Projects Agency

DBS : Deep Brain Stimulation

DSM (II et V) : Diagnostic and Statistical Manual (version II et version V)

EEG : Électroencéphalographie

EPTC2 : Enoncé Politique des Trois Conseil version 2

Ex. : exemple

FDA : Food and Drug Administration

fNIRS : functional Near-Infrared Spectroscopy

GABA : Acide gamma-aminobutyrique

Hz : Hertz

IRM : Imagerie par Résonance Magnétique

MDD : Medical Devices Directive

NIBS : Non-invasive brain stimulation

NSABB : National Science Advisory Board for Biosecurity

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PTSD : Post-traumatic Stress Disorder

RCR : Responsible conduct of research

rTMS : repetitive transcranial magnetic stimulation

STS : Sciences, Techniques et Société

tACS : transcranial alternating current stimulation

TDAH : Trouble déficitaire de l'attention avec hyperactivité

tDCS : transcranial direct current stimulation

tES : transcranial electrical stimulation

TMS : transcranial magnetic stimulation

tPCS : transcranial pulsed current stimulation

Remerciements

Je souhaite remercier Pr. Bryn Williams-Jones pour son encadrement de qualité, sa patience et son soutien dans la réalisation de ce mémoire et de tous les projets qui s’y rattachent. Ce travail n’aurait également pas pu être réalisé sans l’aide de Dr. Louis de Beaumont et l’équipe du laboratoire du traumatisme crânio-cérébral de l’Hôpital Sacré-Cœur de Montréal. Plus spécifiquement, je tiens à remercier la doctorante Gaëlle Dumel, avec qui j’ai pu réaliser des partenariats qui ont grandement étayé ma réflexion.

Je tiens également à remercier Louis Chartrand pour ses commentaires et conseils pertinents lors de discussions portant tant sur le contenu de ce mémoire que sur la vie académique en générale. Ont également aidé au développement de ce projet la Pr. Béatrice Godard et les étudiants de son cours de séminaire, les membres du Centre Alexandre Koyré, le Centre de recherche en éthique (CRÉ) et ses membres, Pr. Éric Racine et l’unité de Recherche en neuroéthique, de part leurs retours critiques et constructifs sur le sujet. Plus spécifiquement, je tiens à remercier la doctorante Adeline Néron, pour ses conseils et son entrain contagieux.

Enfin, je souhaite remercier tout particulièrement Catherine Vigneault et Victoria Doudenkova ainsi que Pascale Koenig et Joëlle Fush, pour leur soutien et leur motivation tout au long de ces deux années de maîtrise. Je tiens également à faire part du soutien inconditionnel de Nicolas Barnoud, Bibiane d’Anjou, Frédéric Labour, Julien Sartori ainsi que l’ensemble des membres de ma famille et amis dans la réalisation de ce projet.

Avant-Propos

Mon parcours universitaire a débuté sur les bancs de la faculté des sciences d'Aix-Marseille, en France, où j'ai réalisé une Licence de biologie spécialisée en neurosciences. Si la multidisciplinarité de mon parcours m'a amené à côtoyer une grande diversité de savoirs, je me suis très vite questionnée sur l'utilité potentielle des recherches et informations qui nous étaient enseignées. En effet, les exemples d'études ambivalentes et éthiquement discutables se sont multipliés : des études sur le « cerveau homosexuel » à celles qui s'intéressent aux bases cérébrales de la prise de décision économique ou aux spécificités de l'amygdale des pédophiles. Si l'apport de ces connaissances est indéniable dans l'avancée de la compréhension des mécanismes de notre cerveau et offre de multiples perspectives (répondre à la simple curiosité intellectuelle comme mettre en place des traitements), il semblait que « l'usage » que l'on pouvait faire de ces connaissances était à double tranchant. Les études qui permettent des connaissances utilisables à la fois pour l'amélioration des performances et pour soigner ne sont qu'un exemple des recherches aux potentiels usages problématiques amorcées par cette discipline.

C'est ainsi que j'ai rejoint les Programmes de bioéthique en 2013, préoccupée par l'utilisation secondaire des résultats de recherche en neurosciences et le passage précoce à certaines applications. Désireuse de prendre part activement à la gestion des enjeux éthiques qui les accompagnent, mon intérêt s'est tourné vers le domaine de conduite responsable en recherche et plus particulièrement sur le concept de double-usage. Soucieuse de connaître au mieux les technologies analysées dans le présent mémoire tant que d'avoir une vision réaliste de la responsabilité scientifique, j'ai rejoint le laboratoire du traumatisme crânio-cérébral de l'Hôpital Sacré-Cœur de Montréal en 2014, en tant qu'assistante de recherche. Ce poste m'a permis d'utiliser différentes technologies de stimulations cérébrales transcâniennes qui font l'objet de l'analyse présentée dans ces pages, dont notamment la TMS et la tDCS. En outre, ce poste m'a offert un environnement particulièrement favorable à la discussion éthique, qu'elle concerne les questionnements relatifs à l'usage de ces dispositifs ou ceux de la conduite responsable en recherche.

Suite à ces discussions, j'ai notamment eu l'opportunité d'organiser un atelier de vulgarisation en mai 2015 (dans le contexte de l'évènement *24 heures de science*) avec une

étudiante au doctorat de ce laboratoire, afin de présenter et discuter les enjeux éthiques relatifs aux usages de la tDCS. Cet échange a été particulièrement enrichissant, tant du point de vue de la collaboration pluridisciplinaire que de celui de l'échange qu'il a favorisé avec des individus d'horizons variés, aux attitudes plus ou moins téméraires face à l'usage de cette technologie.

Introduction

L'amélioration humaine n'est pas un phénomène nouveau : l'homme cherche des moyens d'augmenter ses performances et sa qualité de vie depuis la nuit des temps. Si cette affirmation est un peu « cliché », elle n'en est pas moins vraie. Qu'il s'agisse de l'agriculture ou de l'urbanisation, du langage, en passant par la consommation de différentes substances tel que le thé ou le café, ces comportements ont traversés les âges. On distingue ainsi les améliorations dites traditionnelles, comme ces dernières, des améliorations plus modernes, notamment permise par le recours à des dispositifs à la pointe de la technologie (Menuz, Hurrilimann et Godard, 2011). L'amélioration humaine ne cesse d'alimenter l'imaginaire des auteurs et réalisateurs de science-fiction, qui décrivent des scénarios tant enthousiasmants qu'angoissants, allant du téléchargement de l'esprit (Pfister, *Transcendence*, 2014) aux promesses de vie éternelle (Dormael, *Mr. Nobody*, 2010 ; Alvarado et Sussberg, *The immortalists*, 2015). Celle des performances cognitives, ou neuroamélioration, est l'une d'entre elles.

Au vu des avancées rapides des connaissances en neurosciences et du développement actuel de nouvelles technologies dans le domaine, il semble que certains usages n'appartiennent plus seulement à l'imaginaire, mais s'apprêtent bel et bien à entrer dans notre vie quotidienne. L'exemple du film de science-fiction *Clones* sortie en 2009, qui mettait en scène des humains connectés à des robots représentant une image idéalisée d'eux même qu'ils contrôlaient à distance pour agir publiquement, devient aujourd'hui plausiblement envisageable grâce à la mise au point de dispositifs cerveau-ordinateurs qui permettent une forme de contrôle de machines par la pensée (Menuz, 2012). Outre les avantages révolutionnaires que pourraient apporter ces dispositifs pour les personnes handicapées, une utilisation par des personnes non-malades est envisageable et pose d'ores et déjà des questions éthiques relatives à l'accès, l'authenticité et la coercition qui pourrait concerner cette technologie (Menuz, 2012). Ces applications non-thérapeutiques de technologies biomédicales ne sont ainsi pas sans soulever différentes préoccupations éthiques, auxquelles s'intéresse ce projet de mémoire.

« Neuroamélioration » ou « neuroenhancement » : quelques définitions

Le terme « neuroamélioration » est ici utilisé pour traduire le mot « neuroenhancement » retrouvé dans la littérature Anglo-Américaine, bien qu'il ne reflète pas la nature exacte de ce dernier, à savoir augmenter à la fois la qualité et la quantité de performances cognitives (CCNE, 2014). Si le terme « human enhancement » peut être défini comme « the improvement, amelioration or creation of human capabilities, before or after birth, through the use of various types of technologies linked to many fields of science » (Menuz, Hurrellmann et Godard, 2011 ; p. 162), la neuroamélioration peut être définie comme l'utilisation de procédés en vue d'augmenter, améliorer ou créer des capacités humaines cognitives.

Le champ de la neuroamélioration peut être divisé en trois grands sous-domaines, à savoir, l'amélioration cognitive, l'amélioration affective et de l'humeur, et l'amélioration morale (Pustovrh, 2014). Il est également à noter qu'en agissant sur le système nerveux, on peut aussi améliorer les performances motrices (Clark et Parasuraman, 2014 ; Luber et Lisanby, 2014 ; Levasseur-Moreau, Brunelin et Fecteau, 2013). Le présent mémoire relevant plus d'un cadrage technologique que méliotypique, les améliorations analysées seront celles observées lors d'une intervention sur le système nerveux, qu'elles soient cognitives, motrices, morales ou affectives, permises par les technologies de stimulations transcrâniennes. Si ces dernières font l'objet de ce cadrage, c'est qu'elles sont actuellement largement utilisées en recherche, perçues comme non-dangereuses et accessibles dans l'espace public en dehors de tout contrôle des systèmes cliniques et sanitaires (Dubljević, 2014 ; Fitz et Reiner, 2013 ; Hildt, 2014 ; Lapenta *et al.*, 2014 ; Maslen *et al.*, 2014, (a) et (b)).

Dans la littérature, la définition de la « neuroamélioration » ne fait pas consensus. On peut définir ce terme en fonction des effets observés : « Neuroenhancement describes the use of neuroscience-based techniques for enhancing cognitive function by acting directly on the human brain and nervous system, altering its properties to increase performance » (Clark et Parasuraman, 2014, p. 889). Certaines définitions prennent aussi la peine de préciser quelles sont ces « performances accrues » : « Cognitive enhancement can be defined as any augmentation of core information processing systems in the brain, including the mechanisms

underlying perception, attention, conceptualization, memory, reasoning and motor performance » (Sandburg et Bostrom, 2006 dans Luber et Lisanby, 2014, p. 961).

Par ailleurs, ce terme fait parfois référence à l'utilisation de procédés pour améliorer la « qualité de vie » ou le « bien-être » : « “Enhancement” should be defined to mean any change in the biology or psychology of a person which increases the chances of leading a good life in a given set of circumstances » (Savalescu *et al.*, 2011 dans Earp *et al.*, 2014, p. 2). Cette définition semble particulièrement adaptée lorsque l'on parle d'amélioration cognitive car elle permet d'inclure également la recherche d'amoindrissement de certaines fonctions de l'activité cérébrale pour atteindre le comportement ou l'état cognitif désiré (Earp *et al.*, 2014). Les technologies de stimulation transcrânienne ayant les possibilités soit d'inhiber, soit d'activer certains réseaux de neurones et ainsi certaines fonctions (comme en diminuant l'activité de zones concurrentes de celles responsables du comportement que l'on souhaite améliorer), cette vision semble particulièrement pertinente. Ces définitions reflètent une vision plutôt optimiste et positive du recours aux technologies d'augmentation des performances cognitives. Cependant, cette vision ne fait pas l'unanimité : la véritable amélioration permise par ces dernières ainsi que le « bien-être » promis est largement discuté (Schleim, 2014 ; Nagel, 2014 ; Racine, 2010 ; Duecker, de Graaf et Sack, 2014). Insérer un tel jugement de valeur dans la définition pourrait la compromettre si les bienfaits se révélaient illusoire. Certains auteurs choisiront alors de lui substituer le terme plus neutre d'anthropotechnologie, qui se veut refléter une approche plus européenne (Allouche, 2009)

Cependant, une définition basée sur les seuls effets ne répond pas clairement aux enjeux soulevés par les usages neuroamélioratifs. Afin de s'intéresser à ces enjeux plutôt qu'à la qualité des effets de technologie d'amélioration cognitive, il est plus à propos de définir les usages neuroamélioratifs en fonction de l'objectif des utilisateurs que selon l'efficacité réelle des technologies. Dans la littérature en neuroéthique, on parle souvent de neuroamélioration pour identifier l'utilisation non-thérapeutiques de technologies médicales, soit un usage par des individus « sains » ou non-malades, comme dans la définition suivante : « *the idea that the physical and mental capabilities of healthy people can be expanded or increased through direct technological interventions into the body, especially the brain* » (Pustovrh, 2014,

p. 271). L'usage neuroamélioratif débute ainsi quand le « traitement » finit, quand il ne s'agit plus de « réparer » mais d'augmenter des capacités considérées comme « normales ».

Une frontière claire entre le « normal » et le « pathologique » étant particulièrement difficile à établir (CCNE, 2014 ; Pearce, 2014 ; Maslen *et al.*, 2014 (a); Buchanan *et al.*, 2001), en particulier en ce qui concerne les troubles mentaux, on peut douter de l'opérationnalité de cette définition. Il est en effet difficile de se référer à une norme mouvante pour définir la neuroamélioration, celle-ci étant d'autant plus encline à changer avec un recours de plus en plus important aux technologies. Une définition basée sur la perception subjective et individuelle qui tient compte du contexte et de l'état optimal de chaque individu pourrait pallier ce problème : « *We propose a definition of human enhancement where each individual has to determine for herself/himself, based on her/his personal optimum state, whether the outcome of a given technological intervention can be described as human enhancement or not* » (Menuz, Hurlimann et Godard, 2011 ; p. 173) mais ne semble pas plus opérationnelle.

S'il est ainsi difficile de donner une définition consensuelle de la neuroamélioration, les enjeux et technologies dont il est question varient cependant peu d'une vision à l'autre. Pour l'analyse présentée dans ce mémoire, les usages neuroamélioratifs feront référence à *l'utilisation de technologies en dehors du cadre clinique ou investigatoire, dans le but d'améliorer des performances cognitives, quelle que soit l'efficacité observée ou la réelle amélioration permise.*

De nouvelles technologies aux potentielles perspectives neuroamélioratives

Dans le domaine de la recherche en neurosciences, les études aux perspectives de neuroamélioration impliquent différentes technologies. Le Comité Consultatif National d'Éthique français (CCNE), dans son avis sur la neuroamélioration, présente quatre catégories de techniques neuroamélioratives : 1) la prise de médicaments par voie orale, 2) les techniques de stimulation cérébrales transcrâniennes non-invasives, 3) le *neurofeedback* et 4) la stimulation cérébrale profonde (CCNE, 2014). Les recherches en neuropharmacologie ont déjà fait couler beaucoup d'encre quant aux différents enjeux éthiques associés à leur usage (relatifs à la sécurité, à la justice distributive, à l'équité ou à l'authenticité), que ce soit dans le

cadre de la pratique clinique ou par la population « non-malade » (Farah *et al.*, 2004, Farah *et al.*, 2014 ; Chatterjee, 2006). En effet, le débat concernant la neuroamélioration jusqu'à aujourd'hui est principalement centré sur l'utilisation *off-label* de prescriptions pharmaceutiques, c'est-à-dire, l'utilisation de médicament pour des fins non-autorisées ou prévues par une ordonnance médicale (Pustovrh, 2014). Ces discussions concernent différents psychostimulants, antidépresseurs et anxiolytiques. La consommation estudiantine de stimulants cognitifs tel que les amphétamines (Ritalin ou Modafinil) et les enjeux éthiques qui en découlent (relatifs aux effets secondaires, à la possible atteinte à la justice sociale ou à l'authenticité) ont particulièrement été abordés dans la littérature neuroéthique (CCNE, 2014 ; Racine, 2010 ; Farah *et al.*, 2014). Aujourd'hui, la prise de stimulants cognitifs reste la catégorie la plus utilisée dans le cadre d'un usage non-médical (Pustovrh, 2014).

Il n'en est pas moins que les autres catégories de technologies amélioratives méritent un intérêt particulier. Les stimulations cérébrales profondes, ou « deep brain stimulation » (DBS), sont principalement utilisées pour traiter les troubles cognitifs résistants aux médicaments, tel que l'épilepsie, la maladie de Parkinson ; ou encore la dystonie (Cabrera, Evans et Hamilton, 2013 ; Bell, Mathieu et Racine, 2009). Cependant, au vu de la grande invasivité de cette technologie qui nécessite une chirurgie (ouvrir la boîte crânienne pour insérer une électrode dans le cerveau), son coût, et les risques importants qui accompagnent son insertion, une utilisation non-médicale semble à l'heure actuelle difficilement envisageable (Cabrera, Evans et Hamilton, 2013). En effet, le dispositif comme les procédures nécessaires à la stimulation coûtent des dizaines de milliers de dollars et présentent des risques de complications non-négligeables telles que des séquelles neurologiques permanentes (4 à 6% selon le cas), des paralysies, des hémorragies intracrâniennes, ou d'éventuelles infections post-opératoires (Bell, Mathieu et Racine, 2009).

De son côté, le *neurofeedback* permet de moduler l'activité cérébrale sans intervention directe dans le cerveau. Le plus souvent, il s'agit de donner un retour sur l'activité cérébrale d'une personne grâce à des électrodes d'enregistrement d'électroencéphalographie (EEG). Ce retour permet, entre autre, d'adapter l'apprentissage de façon à observer un effet sur les ondes cérébrales et de modifier ainsi son activité (Glannon, 2014). À cette liste, on peut également ajouter les très récentes interfaces cerveau-machine, et les interfaces cerveau-cerveau. Les *brain-computer interfaces* (BCIs) sont des technologies récemment apparues (la première

répertoriée en 1960), pouvant aider à restaurer d'importantes fonctions chez des personnes sévèrement handicapées (He *et al.*, 2014) souffrant par exemple de tétraplégie ou du *locked-in syndrom* (Glannon, 2014). Les *brain-to-brain interfaces* (BTBIs) ont permis quant à elles une communication entre deux cerveaux de rats, par câble puis par wifi (Trimper, Wolpe et Rommelfanger, 2014, Pais-Vieira *et al.*, 2013 ; Yoo *et al.*, 2013). Une récente étude publiée par Rao et ses collaborateurs en 2014 a permis de démontrer une communication entre deux cerveaux humains (Rao *et al.*, 2014). Si les BTBIs sont présentées comme un prometteur futur outil de communication par les auteurs, l'usage neuroamélioratif envisageable est celui d'un transfert d'informations d'un cerveau expert à un autre (Trimper, Wolpe et Rommelfanger, 2014). Vu l'extrême nouveauté de ces deux dernières, l'usage neuroamélioratif potentiel reste cependant lointain.

L'utilisation neuroaméliorative de ces technologies s'accompagne de questionnements et préoccupations d'ordre éthique. Il y est des risques et effets secondaires méconnus dans un usage qui sort du contexte médical ou de la recherche, car ces derniers garantissent dans une certaine mesure, une surveillance des effets secondaires et risques potentiels par des experts biomédicaux. De plus, quelque soit la technologie dont il est question, le réel pouvoir d'amélioration des performances est régulièrement questionné lorsque l'on sort du cadre clinique ou investigatoire (Duecker, de Graaf et Sack 2014 ; Levasseur-Moreau, Brunelin et Fecteau, 2013 ; Trimper, Wolpe et Rommelfanger, 2014). De manière générale, avoir recours à des techniques neuroamélioratives pose les questions d'une atteinte éventuelle à l'authenticité individuelle, à l'autonomie ou à la justice. On s'inquiète notamment du risque de l'apparition de différents types de coercition qui pourraient porter atteinte à l'autonomie des utilisateurs : une coercition implicite et sociétale issue de la course à la performance de nos sociétés compétitives, qui tendrait à être plus explicite dans le cas d'une utilisation requise par les parents sur leur enfants ou dans le contexte militaire (CCNE, 2014 ; Maslen *et al.*, 2014 (b) ; Farah *et al.*, 2004). Des atteintes à la justice sociale avec l'éventuelle apparition d'une classe « neuroaméliorée » qui augmenterait d'autant plus de fossé déjà existant entre riches et pauvres (CCNE, 2014 ; Farah *et al.*, 2004 ; Chatterjee, 2006). Enfin, une atteinte à l'authenticité individuelle est envisageable, selon un argument méritocratique qui défend que les performances réalisées ne sont pas méritées si elles sont permises par des aides technologiques. Celles-ci pourrait conduire à des préoccupations relatives à l'équité,

notamment lorsqu'utilisées dans des milieux compétitifs (Farah *et al.*, 2004 ; Chatterjee, 2006). Un risque d'introduire des informations dans le cerveau d'une personne de manière coercitive à l'aide de technologies BTBIs est également imaginable, qui pourrait tendre vers la manipulation (Trimper, Wolpe et Rommelfanger, 2014).

Chaque technologie de stimulation cérébrale ayant son propre profil de sécurité au vu des risques connus et potentiels (Cabrera, Evans et Hamilton, 2013), la pertinence de l'analyse de ces enjeux doit tenir compte de chacune d'elles, au cas par cas. Comme mentionné ci-dessus, les risques et effets secondaires potentiels sont différents, en niveau comme en nature, que l'on parle par exemple de DBS (hémorragie ou paralysie) ou de tDCS (maux de tête) (Cabrera, Evans et Hamilton, 2013 ; Bell, Mathieu et Racine, 2009). De plus, les champs d'application sont hautement dépendants de l'accessibilité actuelle de ces dispositifs comme de leur facilité d'utilisation, ce qui rend les enjeux plus ou moins prospectifs. Les *dispositifs de stimulations cérébrales transcrâniennes* seront ceux analysés dans le présent mémoire, méritant un intérêt tout particulier à la vue de leur développement imminent, des effets neuroamélioratifs qu'ils permettent et de leur relative accessibilité (la tDCS étant par exemple en vente sur internet) (Clark et Parasuraman, 2014 ; Dubljević, 2014 ; Dubljević, Saigle et Racine, 2014 ; Hildt, 2014). Leur utilisation peut ainsi aujourd'hui raisonnablement poser des risques et enjeux de santé publique.

L'analyse sera plus précisément centrée sur la TMS et tDCS, qui sont les principales technologies du genre. La TMS, dont un courant électrique qui passe à travers un *coil* provoque un champ magnétique de faible intensité, peut servir tant d'outil diagnostique en mesurant la plasticité cérébrale que de traitement potentiel de différents troubles tels que la dépression, la maladie de Parkinson, l'épilepsie et l'hyperalgésie (Cabrera, Evans et Hamilton, 2013 ; Luber et Lisanby, 2014 ; Nowak *et al.*, 2010). La tDCS, brève stimulation électrique de faible intensité, moins coûteuse et plus pratique d'utilisation que la première, possède également de potentielles applications thérapeutiques intéressantes, pour des troubles tels que la maladie d'Alzheimer, le trouble déficitaire de l'attention avec hyper-activité (TDAH) ou encore la récupération après un accident vasculaire cérébral (AVC) (Coffman, Clark et Parasuraman, 2014 ; Cabrera, Evans et Hamilton, 2013 ; Pustovrh, 2014). Ces deux dispositifs peuvent soit stimuler soit inhiber les zones corticales prédéfinies, ayant démontré participer à une amélioration des performances dans des tâches qui impliquent, entre autres, l'attention, la

mémoire, l'humeur, ou l'apprentissage chez les sujets non-malades (Coffman, Clark et Parasuraman, 2014 ; Clark et Parasuraman, 2014). Ces données laissent imaginer que TMS et tDCS pourraient devenir d'éventuels outils pour améliorer ses performances dans la vie de tous les jours, comme lors d'examens ou d'entretiens d'embauche, notamment dans le cadre de milieux compétitifs (ex. : militaires ou académiques) ou particulièrement demandants en attention, comme les pilotes ou contrôleurs aériens (Chatterjee, 2006 ; McKendrick, Parasuraman et Ayaz 2015). Si ces résultats sont encore expérimentaux, l'usage amélioratif de ces technologies n'est plus seulement une simple perspective, la tDCS étant notamment en vente en ligne (www.thync.com; www.foc.us).

Outre les enjeux éthiques relatifs à toutes technologies au potentiel amélioratif mentionnés précédemment, l'utilisation des dispositifs de stimulations transcrâniennes à des fins non-thérapeutiques expose à différents risques potentiels. Si les effets secondaires reportés à l'heure actuelle semblent bénins (ex. : maux de tête, fatigue), il se pourrait que des effets inattendus apparaissent vu le manque de recul actuel, notamment si l'on en venait à un usage répété et sur une longue durée (Cabrera, Evans et Hamilton, 2013 ; Pustovrh, 2014 ; Clark et Parasuraman, 2014 ; Duecker, de Graaf et Sack 2014). De plus, les bénéfices réels apportés par leur utilisation en dehors du cadre clinique restent encore à démontrer (Hildt, 2014 ; Duecker, de Graaf et Sack 2014). Ainsi, bien que ces technologies sont largement considérées comme non-invasives, elles ne sont pas sans risque (Davis et van Koningsbruggen, 2013). Différents auteurs, en neuroéthique comme en neurosciences, appellent à plus d'études randomisées et contrôlées pour valider les effets neuroamélioratifs ainsi que les risques associés à cet usage, afin de pouvoir réaliser une pondération des bénéfices et des risques adaptée en vue d'un réel consentement éclairé et d'une implémentation de mesures de régulation appropriées pour protéger la sécurité publique (Clark et Parasuraman, 2014, Duecker, de Graaf et Sack 2014, Fitz et Reiner, 2014 ; Hildt, 2014 ; Maslen *et al.*, 2014 (a) et (b)).

Le concept de double-usage : un outil éthique pour l'analyse des enjeux de la neuroamélioration ?

Le concept de double-usage réfère initialement aux connaissances et technologies qui possèdent de potentielles perspectives à la fois civiles et militaires, notamment au regard des

avancées en cryptage de données, physique nucléaire, et biomédecine (Ehni, 2008 ; Selgelid, 2013 ; Williams-Jones, Olivier et Smith, 2013). Apparu au siècle dernier, le premier fameux exemple de double-usage de la recherche est celui des avancées en physiques nucléaires et leurs utilisations à la fois dans le domaine biomédical (imagerie et radiothérapie), énergétique (centrales) et militaire (bombe atomique) (Ehni, 2008, Williams-Jones, Olivier et Smith, 2013 ; Revill et Dando, 2008). Plus récemment, ce concept est réapparu lors de la création de virus hautement pathogènes issue de découvertes en génomique et virologie et leurs possibles utilisations détournées à des fins néfastes, notamment pour la création d'armes biologiques (Aken, 2006 ; Selgelid, 2009 (a) et (b) ; Resnik, 2007). Cette création devient d'autant plus préoccupante dans le cas d'une utilisation « bioterroriste » par des acteurs malveillants non-étatiques (Aken, 2006 ; Selgelid, 2009 (a); Kuhlau, 2008). Deux exemples ont particulièrement fait débat il y a quelques années : celui du virus H5N1 et celui du *Mousepox virus*.

Des scientifiques américains ont publié en 2005 le séquençage du virus de la grippe espagnole H5N1, une souche très proche de celle responsable d'une grave pandémie en 1918 (Aken, 2006). De même, des chercheurs australiens ont développé en 2011 une variante du *Mousepox virus*, aussi appelé variole de la souris, transmissible entre mammifères et hautement pathogène : 100% des animaux exposés sont décédés suite à l'infection, tandis que 60% des personnes infectées par la variole décèdent selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) (Murdock et Koepsell, 2014 ; Holtcamp, 2012). Au vu de la haute importance des risques potentiels relatifs à la sécurité nationale et à la santé publique associés aux mésusage de ces recherches, des débats hautement politisés sur la gouvernance scientifique du double-usage ont opposé, entre autres, virologistes et experts en biosécurité (Aken, 2006 ; Selgelid, 2013 ; Murdock et Koepsell, 2014).

Ces discussions ont principalement porté sur les questions de non-publication de tels résultats ou de non-conduite de recherches qui présentent un risque de mésusage potentiel élevé (Aken, 2006 ; Selgelid, 2009 (a) ; Miller et Selgelid, 2007). L'implication de ces recherches pour la création d'armes de destruction massive n'est pas sans rappeler les implications similaires de physiciens dans les discussions sur la gestion de la dangerosité de l'introduction de l'arme nucléaire dans l'arsenal militaire au cours de la Seconde Guerre Mondiale (Revill et Dando, 2008). Cependant, le devoir de censurer ces recherches n'a pas fait

l'unanimité. Il n'était pas dans l'intention des scientifiques que de telles applications découlent de leur recherche, le but initial, légitime et utile, étant de permettre une meilleure compréhension de ces agents pathogènes afin notamment d'aider dans la prévention de futures pandémies et à la mise en place de vaccins appropriés (Aken, 2006 ; Selgelid, 2009 (a) ; Miller et Selgelid, 2007). Au vu des risques associés à ces utilisations, il serait d'autant plus nécessaire que ces recherches aient lieu pour permettre de présager ce genre de développement, ce qui rend l'interdiction de publier ou de réaliser les recherches problématique (Miller et Selgelid, 2007; Selgelid, 2013 ; Selgelid, 2009 (a)). La résultante de ces discussions s'inscrit dans un dilemme de nature éthique qui présente un conflit entre les valeurs défendables de protection de la santé et la sécurité publique *versus* la promotion du progrès scientifique (Selgelid, 2009, (a) et (b)). Il s'agit en effet, d'une part, de protéger la liberté académique afin d'assurer l'avancée des connaissances et, d'autre part, d'empêcher le mésusage potentiel et de prévenir ou gérer les risques issus de son développement (Miller et Selgelid, 2007 ; Selgelid, 2009, (a) et (b)).

Si le concept de double-usage se retrouve applicable à différents domaines, le champ de la recherche en neurosciences est également concerné par ce dilemme, généralement attribué aux recherches de la discipline qui connaissent des perspectives militaires (Tennison et Moreno, 2012). Le double-usage concerne ici notamment les technologies de stimulation transcrânienne, qui pourraient permettre l'amélioration des performances de soldats ou des techniques d'interrogatoire (Levasseur-Moreau, Brunelin et Fecteau, 2013 ; Trimper, Wolpe et Rommelfanger, 2014 ; Canli *et al.*, 2007). Si les neurosciences peuvent ainsi être considérées comme des recherches à double-usage, la plupart des politiques se concentrent sur les études en sciences de la vie et la possible création d'armes biologiques qui en découle (Kuhlau, 2008). Cependant, il existe de nombreux champs de recherches et technologies auxquels peut-être appliqué le concept, des exemples allant d'études ethnographiques sur des populations marginales (qui pourrait permettent à la fois une meilleure reconnaissance de ces groupes et les exposent à un risque de discrimination) aux dispositifs de puces à radiofréquences (aux applications sécuritaires quotidiennes, dont l'implantation pourrait éventuellement permettre la surveillance d'enfants ou de personnes âgées atteintes de démences) (Williams-Jones, Olivier et Smith, 2013).

Aujourd'hui, comme identifié par Selgelid, on retrouve au moins trois définitions possibles du concept de double-usage, qui s'appliquent à la recherche ou aux technologies (Selgelid, 2009, (a), p. 176) :

1. that which has both civilian and military applications
2. that which can be used for both beneficial/good and harmful/bad purposes, and
3. that which has both beneficial/good and harmful/bad purposes – where the harmful/bad purposes involve weapons, and usually weapons of mass destruction in particular.

Si l'on s'accorde avec la deuxième définition plus globale, la notion de mésusage s'ouvre alors à d'autres perspectives que celles des applications militaires ou de bioterrorisme. Cependant, dans la littérature, on retrouve ce concept associé le plus souvent aux recherches en neurosciences avec des perspectives de sécurité nationale (Trimper, Wolpe et Rommelfanger, 2014 ; Tennison et Moreno, 2012 ; Tracey and Flower, 2014). Il est en effet reconnu que « much neuroscience is 'dual use' research, asking questions and developing technologies that are of both military and civilian interest » (Tennison et Moreno, 2012).

Aux États-Unis, la Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), tout comme les rapports du National Research Council ou les financements du Department of Defense ont reconnu l'intérêt particulier à accorder à ces technologies dans le cadre de la sécurité nationale, faisant des neurosciences une composante prometteuse des besoins du 21^{ème} siècle (Tennison et Moreno, 2012, Moreno, 2012). L'engouement actuel des agences comme la DARPA pour les neurosciences et la neuroamélioration – qui n'est pas la seule au niveau international, mais qui démontre le plus de transparence face à cet engouement (Moreno, 2012) – justifie les préoccupations issues de ce double usage. La DARPA dispose en effet d'un budget considérable (2.92 milliard de dollars de budget officiel pour l'année fiscale 2015 (DARPA, 2015), et finance aujourd'hui de nombreux programmes de recherche, parfois disséminés dans différentes universités, qui ont trait aux neurosciences et qui concernent notamment la neuroamélioration (Tennison et Moreno, 2012; Moreno, 2012).

Cependant, il semble que la dualité des usages de la recherche, et plus particulièrement de la recherche en neurosciences, ne se limite pas à ces seules applications civiles (thérapeutiques) et militaires. Si la nature néfaste fréquemment associée aux perspectives militaires de la science est à tempérer, il est des mésusages potentiels qui ne relèvent pas de la

sécurité nationale bien qu' issus de recherches faisant face au même dilemme. Étendre la portée du concept de double-usage à d'autres contextes que ceux de la sécurité nationale est particulièrement approprié dans le cadre de la neuroamélioration, puisque c'est dans ce domaine que s'illustre le double usage traditionnel de la recherche en neurosciences, visant à la neuroamélioration des soldats ou de différentes techniques de sécurité nationale (Levasseur-Moreau, Brunelin et Fecteau, 2013 ; Trimper, Wolpe et Rommelfanger, 2014 ; Tennison et Moreno, 2012). À ces applications militaires s'ajoutent ici celles du contexte civil dans différents aspects de la vie professionnelle et personnelle, notamment liées aux usages de technologies de stimulations transcrâniennes d'amélioration des performances cognitives au quotidien, permise notamment par la mise en vente de tDCS sur internet.

Ce projet de mémoire tente ainsi de réfléchir à l'encadrement des usages neuroamélioratifs des technologies de stimulation cérébrale transcrânienne par le biais de ce concept, s'accordant avec la nécessité d'une approche globale des réflexions comme des politiques qui concerne le double-usage (Williams-Jones, Olivier et Smith, 2013 ; Resnik, 2009). En effet, l'utilisation de ce concept est pertinente car il répond au dilemme présenté ici, mais aussi car il permettrait de justifier la recherche d'un encadrement relativement systématique et plus généralisable. Si envisager le *human enhancement* de la population civile comme un mésusage de la recherche est relativement novateur, cela n'est pas moins pertinent pour nourrir les réflexions d'un encadrement proactif qui pourrait répondre aux enjeux d'une avancée technologique exponentielle dès la recherche, en amont de ses applications.

Structure du mémoire

L'objectif envisagé est de défendre que *le concept de double-usage de la recherche est particulièrement utile pour réfléchir aux enjeux éthiques des recherches en neurosciences avec des perspectives de neuroamélioration et à l'encadrement des utilisations qui en découlent, en dehors du cadre clinique ou investigatoire*. Pour cela, il est d'abord nécessaire d'ouvrir le concept à d'autres applications que celles de la sécurité nationale, soit de justifier son utilisation pour des recherches et applications d'un domaine différent des domaines habituellement concernés par cette littérature. En effet, très peu de littérature identifie les neurosciences comme des recherches à double-usage. Cet aspect est développé dans le **Chapitre 1 : « Ouvrir le concept de double-usage de la recherche en neurosciences aux**

perspectives neuroamélioratives », passant en revue dans une première partie ce qui est traditionnellement considéré comme un mésusage de la recherche en neurosciences. Révisant la dichotomie simpliste des usages militaires « mauvais » et thérapeutiques « bénéfiques » dans une seconde partie, est proposé dans la troisième d'ouvrir le concept à d'autres types de mésusages, et notamment ceux qui concernent l'utilisation des technologies de stimulation transcrânienne pour des fins d'amélioration des performances. Les recherches qui font l'objet de cette ouverture sont bien à double-usage car elles font face aux même dilemme, malgré que le niveau et la nature du risque associés à leurs mésusages ne soient pas les mêmes que ceux des recherches aux applications militaires ou aux implications pour la sécurité nationale. Les applications choisies étant prospectives et les risques associés incertains, un principe de précaution vient justifier la nécessité d'un encadrement. L'invocation de ce principe est inhérente au concept de double-usage, est de mise pour réguler les applications neuroamélioratives, la proposition est d'autant plus pertinente bien qu'il soit nécessaire de s'arrêter sur ce qu'implique ce principe afin de répondre à des enjeux imminents et non fictifs.

Le Chapitre 2 : Opérationnalisation du concept de double-usage : application à la mise sur le marché de neurostimulateurs, présentera alors une des façons imaginables d'opérationnaliser ce concept et son ouverture, en prenant pour exemple le cas de l'utilisation de tDCS pour améliorer ses performances quotidiennes. Il s'agit en effet du cas le plus imminent (déjà en vente en ligne) et le plus inquiétant (nombreux risques et enjeux potentiels) de ceux qui pourrait advenir avec les technologies qui nous intéressent. Une première partie décrira les différentes façons de se procurer une tDCS et donnera les arguments qui permettront de soutenir que cette vente en ligne est un potentiel mésusage de la recherche en neurosciences. Dans une seconde partie, les risques et enjeux associés à ce mésusage seront décrits et analysés, utilisant le concept de double-usage comme un outil diagnostique en amont de l'encadrement de cet usage, justifiant ce dernier par la mise en évidence de préoccupations de santé publique inhérentes à son développement. Une troisième partie passera en revue les mécanismes et propositions de gouvernances relatives au double-usage de la recherche et à la tDCS, afin de proposer des pistes de solutions pour un encadrement adapté, répondant à l'analyse des risques proposés.

Approche et limites de la recherche

Le travail de recherche réalisé ici se résumera à une approche méthodologique conceptuelle qui est justifiée vue qu'il existe à l'heure actuelle peu de travaux sur l'application du concept aux recherches en neurosciences, et sur son application aux usages neuroamélioratifs du domaine civil. Ce travail répond plus à celui d'une analyse en amont de la mise en place d'encadrement qu'au développement d'une régulation systématique à proprement parler, bien qu'il aille dans le sens de démontrer la pertinence de cette dernière. Cette ouverture est d'autant plus nécessaire vu qu'il n'existe aujourd'hui aucun encadrement pour les usages neuroamélioratifs des technologies de stimulation transcrânienne (Hildt, 2014, Dubljević, 2014, Maslen et al, 2014, (a)). Ce travail est ainsi essentiellement basé sur la lecture et l'analyse d'articles de littérature scientifique, issus de différentes entrées disciplinaires.

Afin d'avoir une vision adéquate, réaliste et fondée du fonctionnement des technologies d'intérêts, des usages possibles tout comme des bénéfiques et des risques potentiels qui les accompagnent, parcourir la littérature neuroscientifique a été indispensable. De plus, une revue non-systématique de la littérature en neuroéthique a été nécessaire, d'une part, afin de connaître le discours sur le double-usage de la recherche en neurosciences, et, d'autres part, pour faire le tour des enjeux et risques attribués au développement de la neuroamélioration, qu'elle soit spécifique ou non aux technologies de stimulation transcrânienne. Cette littérature a également permis de pointer du doigt le manque d'encadrement en ce qui concerne l'usage amélioratif des stimulations transcrâniennes et les propositions de régulations qui ont été faites. De plus, la littérature du domaine de conduite responsable en recherche (*Responsible conduct of research*, RCR) sur le concept de double-usage a été largement consultée pour comprendre dilemme et enjeux qui s'y rattachent, ainsi que de connaître l'encadrement qu'il présuppose. Enfin, quelques articles sur le principe de précaution, le transhumanisme et l'éthique du *human enhancement* de façon générale, issue principalement des domaines de sciences sociales ou du droit, ont pu apporter des éléments de réponses lorsque nécessaire.

Bien que les recherches n'ont pas fait l'objet d'une restriction géographique particulière, les enjeux de l'amélioration humaine ainsi que son développement concernent

encore principalement les sociétés occidentales (Cabrera, Evans et Hamilton, 2013) étant issus du développement de nouvelles technologies relativement coûteuses et des impératifs de productivité qu'on y observe. Les points de vue et gouvernances étudiés ici sont issus principalement d'Amérique du Nord et d'Europe. Si les approches de ces deux continents diffèrent sur plusieurs points, avec notamment une approche plus précautionneuse et moins libérale en Europe, qui s'observe notamment dans l'encadrement des dispositifs biomédicaux (Mathieu et Williams-Jones, sous presse, (a)), il n'a cependant pas été nécessaire d'en tenir compte vu les objectifs du présent mémoire. Enfin, bien que ce projet se centre principalement sur les technologies de stimulations transcrâniennes, d'autres technologies sont parfois citées à titre d'exemple, tel que différents psychostimulants, des technologies d'imagerie cérébrale ou des BCIs. La tDCS et la TMS restent cependant au centre de l'analyse du présent mémoire, étant deux dispositifs de stimulation particulièrement répandus en recherche et dans la littérature consultée, bien que d'autres technologies auraient pu être tout aussi pertinentes.

Chapitre 1 : Ouvrir le concept de double-usage de la recherche en neurosciences aux perspectives neuroamélioratives.¹

Si le concept de double-usage est initialement apparu pour réfléchir aux implications en sécurité des technologies aux usages à la fois civils et militaires (Ehni, 2008 ; Selgelid, 2009 ; Williams-Jones, Olivier et Smith, 2013), une définition plus large implique aujourd'hui toutes recherches aux usages à la fois potentiellement bénéfiques et néfastes (Selgelid, 2013). Bien que dans cette définition le concept ne semble pas se restreindre à des champs de recherche particuliers, la plupart des politiques se concentrent sur les études qui présente des risques important pour la société, en particulier concernant les recherches en sciences de la vie et la possible création d'armes biologiques qui en découle (Kuhlau, 2008). Par exemple, le National Science Advisory Board for Biosecurity (NSABB) a mis en place différents mécanismes de formations des scientifiques aux enjeux biosécuritaire, en particulier du domaine de la biologie de synthèse, comme identifié le besoin d'une collaboration et de transparence face au double-usage (NSABB, 2011). Les risques associés aux applications concernant la sécurité nationale sont ainsi considérés comme pertinents : « *a salient example of what has come to be known as the dual use dilemma in biomedical research: very often knowledge that can be used for good purposes, such as preventing or treating disease or promoting public health, can also be used for harmful purposes, such as causing disease, death, mass destruction, or terror* » (Resnik, 2007, p. 15).

De plus en plus, on commence à reconnaître les recherches en neurosciences comme des recherches à double-usage, mais sont majoritairement considérées comme telles celles qui possèdent des perspectives militaires ou de sécurité nationale (Trimper, Wolpe et Rommelfanger, 2014 ; Tennison et Moreno, 2012 ; Tracey and Flower, 2014, Dando, 2005), bien que les risques associés à ce mésusage sont bien moindre que les problématiques sécuritaires associées à l'utilisation d'agents pathogènes dans le cadre du développement d'armes de destruction massive, voir de bioterrorisme. Les neurosciences sont cependant parfois prises en compte dans des politiques de double-usage au risque potentiel élevé, comme dans la Biological and Toxin Weapons Convention (BTWC), quand il s'agit de recherches en

¹ Un version plus courte de ce chapitre a été publiée en anglais sous la forme d'un commentaire : N. Voarino, 2014 « Reconsidering the concept of 'dual-use' in the context of neuroscience research » *BioéthiqueOnline* 3/16 (<http://bioethiqueonline.ca/3/16>).

neuropharmacologie qui pourraient conduire à l'utilisation d'agents neuropsychologiques incapacitants pour créer des armes biologiques (Dando, 2011). S'il est important de nuancer la vision néfaste associée systématiquement aux usages militaires, il est également nécessaire de repenser les usages problématiques desquels le concept de double-usage peut traiter, afin de l'utiliser dans le cadre des recherches qui nous intéressent ici. Restreindre le champ du double-usage de la recherche aux simples perspectives militaires amène au risque de manquer tout un pan de recherches qui connaissent des problèmes liés aux usages détournés de leurs objectifs initiaux, qui font face au même dilemme.

Un double-usage « traditionnel » de la recherche en neurosciences

Comme mentionné précédemment, on reconnaît les recherches en neurosciences comme étant des recherches à double-usage lorsqu'elles possèdent des perspectives militaires potentielles. L'engouement actuel des agences de défense et de sécurité nationale pour les neurosciences et la neuroamélioration justifie les préoccupations issues de ce double-usage, d'autant que ces agences disposent d'un budget considérable (Tennison et Moreno, 2012 ; Moreno, 2012). Pour ne citer qu'elle, la Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) des États-Unis, dispose d'un budget de 2.92 milliards de dollars pour l'année fiscale 2015, avec un budget prévisionnel de 2.97 milliards pour l'année 2016 (DARPA, 2015). Cette agence finance aujourd'hui de manière significative de nombreux programmes de recherche qui ont trait aux neurosciences (13 programmes de recherche selon leur site web (DARPA, 2015). Cependant, selon Moreno, ce n'est pas tant le budget de la DARPA qui conduirait à une utilisation majeure des neurosciences que son utilisation brillante du capital intellectuel : 90% de son budget vient supporter la recherche universitaire (Moreno, 2012), finançant une partie des études relatives à la neuroamélioration, de la pharmacologie aux *brain-computer interfaces* (BCIs) et *brain-to-brain interfaces* (BTBIs), en passant par le *brain-mapping* et les technologies de stimulations transcrâniennes (Trimper, Wolpe et Rommelfanger, 2014 ; Tennison et Moreno, 2012 ; Canli *et al.*, 2007 ; Moreno, 2012).

Par exemple, par son programme AugCog (pour Augmented Cognition), cette agence a tenté d'aboutir à la mise en place d'un cockpit cognitif, qui permet de réaliser une sélection sensorielle pertinente afin d'optimiser la transmission d'informations (Tennison et Moreno, 2012 ; Moreno, 2012). Bien que le projet ait été abandonné, il semble que des projets

similaires aient encore lieu au sein de la DARPA, comme le projet Cognitive Technology Threat Warning System (développement de jumelles portatives qui tentent de convertir les réactions neuronales subconscientes face à une menace en informations conscientes disponibles) (Tennison et Moreno, 2012). De même, utiliser les technologies de stimulations transcrâniennes pourrait permettre d'augmenter les performances des militaires ou des agents de sécurité intérieure, et ce à différents niveaux gouvernementaux, ou pourraient être utilisées pour modifier le comportement social de personnes, aidant ainsi à la réalisation d'interrogatoire (Canli *et al.*, 2007). Ces technologies étant portatives (notamment la tDCS) ou relativement peu encombrante (comme la TMS), il est possible d'envisager de les utiliser dans différents environnements, comme les champs de bataille ou les campements temporaires (Canli *et al.*, 2007).

Les préoccupations relatives à l'usage des sciences cognitives à des fins de sécurité nationales ne sont pas nouvelles. Les avancées en psychologie connaissent des implications similaires depuis la Seconde Guerre Mondiale (Kennedy et Moore, 2008), ayant déjà soulevé différents enjeux éthiques par le passé. Par exemple, l'American Psychological Association (APA) a été activement impliquée dans la limitation du mésusage des connaissances et outils du domaine pour des objectifs de sécurité nationale, au regard de la confidentialité, du consentement éclairé, dans le cadre du retour au combat d'un soldat avec un trouble mental ou de l'amélioration de technique d'interrogatoire (Kennedy et Moore, 2008, Olson et Davis, 2008). Aujourd'hui, la communauté neuroscientifique s'inquiète d'ores et déjà des implications non-civiles de la recherche neurosciences, comme le reflète les discussions lors du *webinar* du 7 janvier 2015, organisé par la Danish Board of Technology Foundation intitulé « *Dual use and neuroscience* ». Regroupant experts sur le double-usage de la recherche et experts en neurosciences, le débat s'est articulé autour de l'implication militaire des neurosciences et plus précisément celle du Human Brain Project européen, programme de recherche largement financé aux objectifs principalement thérapeutiques et empiriques.

Ces préoccupations éthiques s'observent aussi chez les éditeurs, comme le démontre l'éditorial publié dans la revue *Nature* en 2003 qui, face au financement croissant des études en neurosciences par des agences de défense, s'inquiète du fait que les scientifiques ne partagent pas les mêmes valeurs et objectifs que ceux qui les financent (Nature, 2003). Un haut scepticisme du public est également à anticiper (Canli *et al.*, 2007). En effet, si le public

peut accepter l'utilisation des neurosciences dans des perspectives de sécurité nationale lorsque le risque de menace est important, cette acceptation est généralement diminuée quand les actions gouvernementales entrent en conflit avec la vie privée et la liberté individuelle (Canli *et al.*, 2007). Comme mentionné par Canli et collaborateurs, une utilisation de neurotechnologies par une agence gouvernementale telle que la Central Intelligence Agency américaine (destinée à la protection de la sécurité intérieure et dont la portée est internationale) serait sûrement mieux perçue qu'une utilisation par la Internal Revenue Service, qui opérerait alors une surveillance non-justifiée des citoyens par l'État. Si peu envisagent ainsi ce double-usage en dehors du cadre d'une potentielle application militaire, celle-ci semble aujourd'hui inquiéter tant la communauté scientifique que le public (Canli *et al.*, 2007, Moreno, 2012).

Les neurosciences au service de la sécurité nationale

L'usage militaire des découvertes neuropharmacologiques est déjà actuellement bien développé. Les risques éthiques associés à cet usage sont nombreux, et en font un mésusage potentiel des recherches dans le domaine, en opposition aux perspectives thérapeutiques communément reconnues comme usage potentiellement bénéfique. Par exemple, l'avancée des connaissances sur le *Post-traumatic Stress Disorder* (PTSD), a permis de découvrir que l'utilisation de Propranolol, en particulier après un accident, permettrait de limiter l'apparition de ce trouble, que ce soit dans le contexte militaire ou civil. Utilisé couramment pour traiter le développement de traumatismes mineurs ou majeurs (Dando, 2005), on peut cependant s'inquiéter du mésusage potentiel de ce traitement, à savoir servir à mener à bien de mauvaises actions et n'en avoir aucun souvenir, pour supprimer les regrets, la douleur ou la culpabilité (Dando, 2005). L'utilisation des stimulations cérébrales dans le but de traiter et comprendre le PTSD a également été investiguée (Novakovic *et al.*, 2010). Il semblerait que ces dernières pourraient être d'une grande utilité pour le traitement de ce trouble, en particulier la TMS et la rTMS, car elle sont plus ciblées et plus efficaces que les traitements actuellement existants, bien que méritant une exploration plus en profondeur, au vu du trop peu de données probantes pour garantir leur efficacité, sûreté et la tolérance associée (Novakovic *et al.*, 2010).

Les recherches sur la narcolepsie ont quant à elles amené à l'utilisation de Provigil (Modafinil) dans le traitement des troubles du sommeil, utilisé également pour augmenter le temps d'éveil et diminuer la fatigue des soldats en activité (Dando, 2005). Remédier aux

symptômes de fatigue et permettre aux soldats d'être plus performants en situation de privation de sommeil est une chose qui pourrait dans l'avenir être permise par les technologies comme la TMS ou la tDCS, de part le fait qu'elles peuvent modifier tant les fonctions motrices que cognitives, bien que de façon transitoire, qui dépasse la durée de la stimulation (Levasseur-Moreau, Brunelin et Fecteau, 2013 ; Canli *et al.*, 2007). La tDCS, en augmentant potentiellement l'acquisition d'habileté lors de tâches cognitives complexes, pourrait par exemple aider à améliorer la productivité et la sécurité générale des systèmes où il est particulièrement nécessaire de mesurer et valider la charge de travail mentale. Par exemple, un manque de performances d'exploitants aérien (notamment concernant la mémoire de travail ou l'attention) pourrait conduire à des situations catastrophiques, tel que pour les contrôles aérien, les commandes et le contrôle militaire (McKendrick, Parasuraman, et Ayaz, 2015). Une telle amélioration est envisageable au vu d'études qui impliquent la tDCS dans l'amélioration de fonctions cognitives lors de tâches complexes telles que la mémoire de travail ou l'attention (McKendrick, Parasuraman, et Ayaz, 2015). Dans la même optique, l'efficacité de la tDCS dans la réduction du temps d'entraînement de tireurs d'élites à déjà été démontré (Pustovrh, 2014), si l'on en croit l'expérience de la journaliste Sally Adee (Adee, 2012). La création d'armes chimiques non-létales est également envisageable au vu des avancées en neuropharmacologie, avec l'utilisation d'agents neuropsychologiques incapacitants (ex. : opioïdes), d'alpha-bloquants ou d'anticholinergiques, qui peuvent provoquer une diminution rapide de la pression artérielle ou une cécité temporaire. Ceux-ci pourraient être utilisés comme des armes de destruction massive si l'on réussissait à les diffuser largement, ce qui serait plausible avec l'avancée technologique actuelle (Dando, 2011).

Le développement des interfaces cerveau-machine ne laisse pas non plus sans préoccupation et exemplifie le double usage des applications de la recherche en neurosciences pour certains auteurs (Tennison et Moreno, 2012). Les technologies BCIs ont d'importantes perspectives thérapeutiques, notamment concernant la restauration ou l'amélioration de patients sévèrement handicapés (Kotchikov *et al.*, 2010). Parmi les différentes perspectives cliniques, on note leur capacité potentielle à restaurer les fonctions motrices des personnes paralysées, à améliorer les performances dans des tâches de vigilance en détectant des lacunes attentionnelles ou encore activer la plasticité cérébrale des zones endommagées pour améliorer

le contrôle neuromusculaire (Wolpaw, 2014). Aujourd'hui, l'usage quotidien des BCIs est encore limité, et ne permet qu'un contrôle et une communication basiques, et ce pour les plus sévères atteintes neuro-musculaires, telle que la sclérose latérale amyotrophique (Wolpaw, 2014), le *locked-in syndrom* ou la tétraplégie (Kotchetkov *et al.*, 2010) et certainement des affections moins sévères dans un futur proche.

Dans le domaine militaire, ces technologies pourraient connaître des applications variées, telles que le contrôle des modalités sensorielles, comme le cockpit cognitif de la DARPA, le contrôle des véhicules ou l'assistance à la détection du danger sur les champs de bataille (Tennison et Moreno, 2012). En reliant un cerveau à un ordinateur, ces outils permettent ainsi de commander des actions à distance ou d'augmenter les capacités des soldats (comme la force ou l'endurance) (Tennison et Moreno, 2012). Couplée à des technologies d'imagerie telle que l'imagerie spectroscopique proche infrarouge fonctionnelle (ou *functional near-infrared imaging*, fNIRS), la tDCS pourrait permettre de nouvelles applications (McKendrick, Parasuraman et Ayaz, 2015). Ce genre de BCIs pourrait fournir un retour direct au cerveau après avoir enregistré les signaux qu'il émet, faisant de ce couple tDCS-fNIRS un outil d'application particulièrement ergonomique et prometteur pour améliorer des tâches complexes dans des environnements naturels. Par exemple, il pourrait permettre de meilleures performances dans l'identification de menaces (plus précise et en temps opportun) et dans leur détection (meilleure sensibilité perceptuelle) (McKendrick, Parasuraman et Ayaz, 2015). De même, de meilleures capacités d'analyse ont pu être observées, comme une amélioration du taux d'apprentissage dans la reconnaissance d'objets, notamment lors de tâches qui impliquent de trouver et de correctement identifier une cible (McKendrick, Parasuraman et Ayaz, 2015). Au vu des améliorations permises par la tDCS et la TMS sur les différents processus attentionnels et moteurs (comme l'augmentation de l'endurance ou de la force musculaire), il serait imaginable de les utiliser pour l'entraînement militaire afin d'améliorer les performances des soldats en les couplant, par exemple, aux logiciels de mise en situation qui existent déjà (Levasseur-Moreau, Brunelin et Fecteau, 2013).

Plus avancées encore, les interfaces cerveau-machine-cerveau permettraient de détecter les déficiences neurologiques des soldats et de supprimer ou augmenter les fonctions cognitives appropriées en fonction de ces informations à l'aide, par exemple, de stimulations magnétiques transcrâniennes (ou TMS) (Tennison et Moreno, 2012). Enfin, plus prospectif

encore, l'apparition très récente de technologies *Brain-to-brain interfaces* (BTBIs) permettrait une communication directe d'informations entre deux cerveaux (Trimper, Wolpe et Rommelfanger, 2014). Ces études ont permis d'observer une transmission d'informations sensorimotrices entre deux cerveaux de rats (Pais-Vieira *et al.*, 2013), et d'un cerveau humain vers un cerveau de rat (Yoo *et al.*, 2013). Une étude récemment publiée a démontré le possible développement de ce type de communication entre cerveaux humains (Rao *et al.*, 2014). Selon Trimper, Wolpe et Rommelfanger (2014), vu l'engouement et l'approche libérale des agences de défense nationale concernant la neuroamélioration, les militaires seront sûrement les premiers utilisateurs de BTBIs chez l'humain. Cette affirmation semble d'autant plus pertinente que l'étude de Rao et collaborateurs mentionne avoir été en partie financée par le Army Research Office américain (Rao *et al.*, 2014).

Les neurosciences sont également un moyen potentiel d'améliorer les méthodes d'interrogatoire et la détection de mensonge. Les avancées neurotechnologiques en imagerie cérébrale laissent penser une possible application dans le domaine (Tennison et Moreno, 2012). Concernant les technologies qui relèvent de la neuroamélioration, les études sur les capacités mensongères et dissimulatrices (falsifier la vérité de façon crédible) montre que la production de mensonges peut-être augmentée comme diminuée par les stimulations cérébrales transcrâniennes (Levasseur-Moreau, Brunelin et Fecteau, 2013 ; Fecteau *et al.*, 2013). Notamment, le développement de recherches en TMS sur l'inactivation ou l'activation de parties spécifiques du lobe frontal qui amènerait à réduire ou éradiquer les attitudes dissimulatrices et mensongères va dans le sens d'une utilisation similaire à celle de l'imagerie dans le cadre de la sécurité nationale (Lo *et al.*, 2003 ; CCNE, 2014 ; Fecteau *et al.*, 2013 ; Canli *et al.*, 2007). De plus, en jouant sur des paramètres comportementaux comme l'hostilité, la confiance, l'empathie ou la coopération, la TMS pourrait améliorer les relations entre agents de défense et ceux soupçonnés de terrorisme lors d'interrogatoire (Canli *et al.*, 2007). Il est cependant parfois reporté que les sujets tendent à mentir plus souvent quand ils reçoivent des rTMS sur le lobe frontal gauche plutôt que le droit dans des tâches où les sujets étaient libres de mentir ou non (Karton et Bachmann, 2011 dans Fecteau *et al.*, 2013).

L'usage de la tDCS a également démontré un effet sur les réponses mensongères : en stimulant le cortex préfrontal dorso-latéral, la stimulation permettrait une réduction du temps de latence de la réponse mensongère (qui est aujourd'hui un des indices les plus fiables pour la

détection de mensonge), mais de façon plus significatives pour les connaissances générales, que pour les informations personnelles (Fecteau *et al.*, 2013 ; Levasseur-Moreau, Brunelin et Fecteau, 2013). Lors de stimulations électriques transcrâniennes couplées au *Guilty knowledge test*, jeu de rôle qui permet d'évaluer les capacités à mentir lorsqu'une action répréhensible a été commise, les personnes stimulées ont été plus aptes à mentir (Levasseur-Moreau, Brunelin et Fecteau, 2013). Cependant, si les individus stimulés deviennent de meilleurs menteurs, contrairement à ceux qui ne reçoivent pas de stimulation, ils restent tout de même plus lents lorsqu'ils mentent que quand ils disent la vérité (Fecteau *et al.*, 2013).

Risques et enjeux éthiques de ce « mésusage »

Les risques et enjeux qui accompagnent les usages militaires des neurosciences sont nombreux, et s'il est reconnu dans la littérature sur le double-usage qu'une utilisation militaire n'est pas un mésusage en soi (Selgelid, 2009, (a)), le simple fait que celles-ci aient des implications en sécurité nationale semble suffire pour considérer qu'elles sont à double-usage du côté de la littérature neuroéthique. Ainsi, il est couramment reconnu que les recherches en neurosciences avec des perspectives de neuroamélioration sont des recherches à double-usage avec, d'une part, un usage potentiellement bénéfique thérapeutique et, d'autre part, un mésusage militaire (Tracey and Flower, 2015 ; Tennison et Moreno, 2012 ; Trimper, Wolpe et Rommelfanger, 2014, Dando, 2005 ; Moreno, 2012). Si l'on peut considérer que ce mésusage en est un, c'est au regard des risques éthiques qui l'accompagnent. En plus des questions concernant la validité ou les effets à long-terme associés à l'utilisation de ces technologies (Trimper, Wolpe et Rommelfanger, 2014 ; Cabrera, Evans et Hamilton, 2013, Brunelin, Levasseur-Moreau et Fecteau, 2013, Sehm et Ragert, 2013), le recours à celles-ci dans ce contexte pose des questions quant à l'autonomie des soldats. En effet, ces derniers n'ont pas la liberté autonome d'accepter ou de refuser une amélioration dans le cadre de l'exercice de leur fonction (Tennison et Moreno, 2012), ce qui pourrait être vu comme une atteinte à la dignité humaine si le soldat venait à être utilisé comme un outil (CCNE, 2014). On pourrait douter également de leur capacité à prendre des décisions libres dans des conditions où leurs comportements et capacités sont modifiés par des neurotechnologies (Sehm et Ragert, 2013). Cette atteinte pourrait être d'autant plus marquée que les effets à long terme sont méconnus, conduisant à des implications potentielles pour les soldats lors de leur retour à la vie civile,

dépassant ainsi le cadre de l'exercice de leur fonction. Ces préoccupations sécuritaires ne concerne pas seulement le soldat mais aussi les tierces parties impliquées dans le combat (Sehm et Ragert, 2013). Par exemple, une libéralisation des critères de décision pourrait conduire à plus de « *hits* » mais probablement au cout de plus de « *false alarms* », ce qui, dans le cas d'une utilisation militaire, peut avoir des conséquences désastreuses (Sehm et Ragert, 2013).

Un risque de coercition peut également être envisagé dans le cadre du développement des technologies BTBIs avec une possibilité d'introduire des informations dans le cerveau d'une personne de manière coercitive imaginable (Trimper, Wolpe et Rommelfanger, 2014), particulièrement dans le cas où ces technologies deviendraient un moyen d'altérer ou de contrôler les fonctions cérébrales des soldats, amenant alors à des préoccupations concernant la responsabilité individuelle (Trimper, Wolpe et Rommelfanger, 2014). Notamment, lors de l'utilisation d'interfaces cerveau-machine, qui peut être tenu pour responsable lors d'erreur ou de dommage collatéraux : la machine, le soldat sous contrôle ou celui qui commande l'ordinateur ? (Trimper, Wolpe et Rommelfanger, 2014). Pour certains, l'usage de technologies BCIs et BTBI en dehors du contexte thérapeutique vient violer l'authenticité individuelle, ne respecte pas les limites de la nature, et nous place face au risque de perdre ce qui fait de nous des êtres humains (Trimper, Wolpe et Rommelfanger, 2014), avec un risque de glissement possible vers la domination et la manipulation (CCNE, 2014).

La question demeure de savoir si cette manipulation pourrait dépasser celle que nous opérons déjà actuellement via différentes méthodes de communication, en particulier dans les techniques d'interrogatoire déjà disponibles, à savoir si la TMS et la tDCS pourraient permettre des moyens de manipulation plus effectifs (Canli *et al.*, 2007), et si cela rend ainsi leur utilisation par nature moins éthique. De même, commander des actions à distance ou permettre aux soldats d'augmenter leurs capacités pourraient poser des problèmes quant à la sécurité civile et à la paix sociale (CCNE, 2014). En effet, on peut se poser la question si, de façon général, il est souhaitable de changer les processus cérébraux de personnes qui pourrait potentiellement ne pas prendre de décision autonome concernant les stimulations cérébrales transcrâniennes et sont responsables de leur vie et de celles des autres (Sehm et Ragert, 2013).

Outre les atteintes à l'autonomie des soldats et à la sécurité des parties prenantes lors du combat, des problèmes sont également reliés à la confidentialité issue du caractère

particulier des données auxquelles ces technologies permettent l'accès, notamment lors de l'amélioration des techniques d'interrogatoire (Luber *et al.*, 2009). Le développement de technologie telles que le *Brain scanning* ou *Brain fingerprinting* pourrait être relativement utile pour améliorer les enquêtes et interrogatoires (Tennison et Moreno, 2012), bien que la précision et la fiabilité des informations fournies par de telles techniques est encore questionnable, ce qui rend leur utilisation pour la détection de mensonge problématique (Meynen, 2014 ; Luber *et al.*, 2009). Des questionnements similaires ont déjà été observés dans le contexte de l'implication de psychologues dans les interrogations. Ces préoccupations ont conduit différentes associations professionnelles à limiter l'implication de leurs membres dans ce genre de pratique par des codes d'éthique, et à débattre d'une totale prohibition (Olson et Davis, 2008). Il semble donc approprié de prendre en considération le rôle des neurosciences dans ce contexte.

De plus, les technologies BCIs et BTBI ne cessent de créer de la distance entre les parties impliquées et érodent la viscéralité offerte par la proximité physique lors d'un combat (Tennison et Moreno, 2012) ce qui peut poser des problèmes quant à la perception du mal infligé et rendre plus difficile l'action éthique, considération déjà apparue lors du développement de l'utilisation de drones dans le même contexte (Sparrow, 2009). Il est ainsi important de s'attarder sur ce double-usage de la recherche en neurosciences, au vu de son développement imminent et des risques qui y sont associés. Cependant, le double-usage de la recherche en neurosciences ne se résume pas simplement à cette vision dichotomique d'une utilisation thérapeutique bénéfique et de mésusage militaire. Il est de plus légitime de questionner l'existence d'une réelle différence fondamentale entre ces enjeux et ceux rencontrés usuellement dans la pratique militaire sans les neurosciences.

Ouvrir le concept de double-usage

Tempérer la dichotomie des usages militaires « néfastes » et thérapeutiques « bénéfiques »

D'abord, il est important de venir tempérer la vision néfaste associée à l'utilisation neurotechnologique dans le cadre de la défense nationale, le développement des applications militaires ne pouvant être considéré seulement comme un mésusage. Comme le reconnaît Selgelid, les applications militaires de la recherche ne sont pas des mésusages *per se* (Selgelid,

2009, (a)). Lors du webinar sur le double-usage mentionné ci-dessus, il a été pointé du doigt que cet aspect été négligé du côté du double-usage en neuroscience :

There is an assumption in this discussion that all military use of technology is bad. I am not convinced of this. In the Second World War there was no ethical concern in the UK over the development of radar, bouncing bombs, code-cracking computers, etc. Our military forces deserve access to the most advanced technologies available to them. Obviously there are ethical limits to what weapons should be used, but I just wish to question the assumption that all military use is bad (Furber, 2015).

Ces applications neuroscientifiques peuvent même apparaître comme justifiées, afin de maintenir une certaine supériorité militaire, d'effectuer des opérations plus efficacement et en toute sécurité, d'être capable d'anticiper et de contrer les potentielles offensives adversaires (Marchant et Gulley, 2010). Ainsi, bien qu'il existe des risques associés à ce développement, et que celui-ci doit se faire de manière éthique, la balance semble, pour certains auteurs, pencher du côté des bénéfices vu la possibilité d'un apport révolutionnaire des neurosciences à la collecte de renseignements et à la guerre (Marchant et Gulley, 2010). Sans faire l'apologie de l'usage militaire de technologie de recherche, il est nécessaire de rappeler que cette notion de mésusage est quelque peu relative.

Dans les discussions sur le double-usage de la recherche qui ne concernent pas forcément les neurosciences, les préoccupations concernent plutôt les usages potentiels par des terroristes ou états dévoyés, bien moins que ceux relatifs à la défense nationale (Aken, 2006 ; Resnik et Shamoo, 2004 ; Selgelid, 2009, (a), Miller et Selgelid, 2007). Dans le cas des technologies étudiées ici, remplacer les techniques neuropharmacologiques par des techniques de stimulations peut-être vu comme un apport positif. En effet, les stimulations cérébrales transcrâniennes sont plus ciblées que les substances chimiques, ce qui diminue donc le risque d'effets secondaires et les rend plus efficaces en augmentant le rapport coût/bénéfices (Cabrera, Evans et Hamilton, 2013). Le corps militaire utilisant d'ores et déjà des substances chimiques pour augmenter l'éveil ou la performance des soldats, remplacer ces dernières par des stimulations pourrait ainsi s'avérer plus efficace et moins dangereux. De plus, l'utilisation des technologies de neurosciences à des fins d'amélioration des techniques d'interrogatoire pourrait diminuer le recours à des pratiques déjà en cours qui posent des problèmes éthiques d'une autre envergure, comme la torture, bien que ces technologies puissent être considérées

comme plus insidieuses et posent ainsi des problèmes relatifs à la confidentialité (Moreno, 2012).

La question de l'éthique de l'utilisation des neurosciences dans le cadre de la défense nationale répond plus d'un débat sur l'utilisation militaire de la science en générale que des neurosciences en particulier. On peut certes considérer que l'utilisation de connaissances et avancées scientifiques à des fins militaires est éthiquement problématique, en particulier lorsqu'on imagine cette utilisation technologique pour attaquer, plutôt que pour se défendre. Cependant, reconnaître l'usage militaire des neurosciences comme un mésusage en soi, c'est admettre que ces connaissances permettent de franchir un pas dans le progrès militaire qui est par nature problématique. Or, il semble difficile d'affirmer qu'une différence éthique fondamentale existe entre l'apport des neurosciences et celui d'autres sciences, mis à part que cet apport suppose, comme pour chacun, l'apparition d'enjeux spécifiques nommés précédemment.

De plus, l'éthique militaire traditionnelle possède déjà des outils qui présupposent garantir une certaine justice avant, pendant, et après le conflit. Selon cette approche, une guerre se doit d'être légitime et justifiée, doit restreindre le conflit aux combattants avec pour objectif final la paix et la production de plus de bien que de mal, s'accompagnant d'un devoir de reconstruction et d'aide une fois la guerre terminée (Canli *et al.*, 2007). Il serait naïf de penser que ces devoirs sont respectés et suffisants pour assurer une pratique militaire éthique, mais cela n'implique pas les neurosciences en particulier. Cependant, il se pourrait qu'un jour l'utilisation de neurotechnologies finissent par compliquer l'application de ces outils, comme le reconnaissent Canli et collaborateurs : « *While the traditional tools of ethical analysis will continue to be useful, the neuroethics and national security challenge does complicate things considerably and may push these tools to their breaking point unless they are intelligently rebuilt* » (Canli *et al.*, 2007, p.9).

D'autres arguments viennent tempérer cette notion de mésusage. Le double-usage de la recherche peut également s'observer de manière inversée, avec un potentiel usage bénéfique (et justifiable) à des fins de sécurité nationale, qui devient potentiellement néfaste lors du passage de ces applications au domaine civil, où la balance semble plus pencher du côté des risques que des bénéfices, aussi appelé dilemme du double-usage inversé (Marchant et Gulley, 2010). Par exemple, le développement des neurotechnologies à des fins d'amélioration des

interrogatoires et des procès criminels dans un but de sécurité nationale pourrait intervenir dans le cadre de la fraude à l'assurance (Tennison et Moreno, 2012) ou lors de procès judiciaires bénins et courants, comme déjà observé aux États-Unis (Larrieu, 2012). La crainte ici est, d'une part, issue de la fiabilité du recours à ce genre de technologies à des fins de détection de mensonges, qui comme dans le cas de l'imagerie fonctionnelle, est trop précoce (Vincent, 2014 ; Luber *et al.*, 2009, 2014, Fecteau *et al.*, 2013). D'autre part, le développement de la neurojustice ne peut se faire sans certaines considérations à l'égard du respect de la vie privée, de la confidentialité, de l'intégrité morale ou de la dignité humaine (Larrieu, 2012 ; CCNE, 2014, Vincent, 2014 ; Meynen, 2014, Fecteau *et al.*, 2013 ; Luber *et al.*, 2009). La vérité matérielle n'étant pas la seule finalité du droit, le recours à ces méthodes pourrait déboucher sur la pratique d'une justice déshumanisée qui ne respecte plus les droits fondamentaux énoncés (Larrieu, 2012). Il pourrait ainsi être encore moins justifié d'utiliser ces technologies à des fins de détection de mensonges dans le cadre d'un recours courant de la société civile.

Si les usages thérapeutiques sont considérés comme légitimes, ils ne sont pas sans s'accompagner, eux aussi, de risques éthiques particuliers. La notion d'usage par nature « bénéfique » est donc également à nuancer. Les technologies de stimulations transcrâniennes possèdent probablement des effets à long-terme encore inconnus et les bénéfices qu'elles permettent sont pour l'instant relativement temporaires. Il est ainsi difficile d'évaluer le poids des bénéfices et des risques associés à leur usage dans le cadre clinique (Hildt, 2014 ; Cabrera, Evans et Hamilton, 2013, Pustovrh, 2014). Ce manque d'information pourrait ainsi nuire au consentement éclairé des patients, d'autant que les personnes souffrants de troubles mentaux sont particulièrement vulnérables, ce qui serait problématique si leur utilisation venait trop rapidement à se développer en clinique, comme c'est le cas au États-Unis où la rTMS est autorisée par la FDA (Food and Drug Administration) pour le traitement de la dépression (Cabrera, Evans et Hamilton, 2013). De plus, l'utilisation de ces technologies dans le cadre clinique pourrait possiblement porter atteinte à la bienfaisance et non-malfaisance, issue de ce manque de connaissance sur les effets secondaires et à long-terme. Ces technologies pourraient modifier des caractéristiques relatives à la personnalité et à l'identité des patients, ce qui compliquerait le respect de l'autonomie (Cabrera, Evans et Hamilton, 2013). Enfin, il

est important de mentionner que les applications non-militaires de ces technologies ne sont pas seulement thérapeutiques. Si la neurojustice a déjà été mentionnée, il existe de nombreux domaines d'applications aux neurosciences aujourd'hui, qui amènent à autant de considérations et de « bons » ou « mauvais » usages potentiels.

Un « neurohype » qui ouvre la porte à de nombreuses recherches à double-usage

Traduire le double-usage seulement en de bonnes applications thérapeutiques et de mauvaises applications militaires relèverait d'une approche réductrice et simpliste. En effet, réduire le champ de la réflexion du double-usage de la recherche à ces seules études pourrait laisser de côté tout un pan des recherches en neurosciences qui présentent à la fois des bénéfices potentiels et des risques dans leurs applications, et mériteraient d'être prises en considération. Le relatif « *neurohype* » identifié aujourd'hui a conduit le domaine des neurosciences à prendre part à une multitude de perspectives dans les dernières décennies, et ce de façon plus ou moins valide (Legrenzi et Umiltà, 2011 ; Racine, 2010). En effet, de nombreux domaines tentent d'utiliser les données et méthodes de la recherche en neurosciences afin de s'accorder une certaine crédibilité ou validité qui peut être remise en question (Legrenzi et Umiltà, 2011 ; Racine, 2010). Le préfixe « neuro » se retrouve régulièrement accolé aux noms de différents domaines (neuro-marketing, neuro-histoire, neuro-justice, neuro-philosophie, neuro-art ...), bien que la justification d'un réel champs « à part » de la discipline usuelle ne soit pas toujours évidente. Ce développement, dont la pertinence est parfois questionnable, augmente le risque de mésusages potentiels. Il semble alors que le concept de double-usage de la recherche doit supporter une analyse nuancée des enjeux éthiques soulevés par un large panel de recherches en neurosciences, peu importe que les connaissances produites soit utilisées pour des applications militaires ou dans des contextes civils, qu'ils soient privés ou gouvernementaux. Cette ouverture s'accorde avec la vision de différents auteurs qui appellent à une approche globale de la gestion du double-usage de la recherche (Resnik, 2009 ; Williams-Jones, Olivier et Smith, 2013). Si l'ouverture du concept est ainsi souhaitable pour traiter des recherches qui nous intéressent ici (celles qui possèdent des perspectives de neuroamélioration), elles ne sont pas les seules qui mériteraient cette attention.

Un exemple notoire est l'utilisation des neurosciences (données de recherche ou technologies) par le secteur privé pour développer et raffiner le ciblage de consommateur, aussi appelé « *neuromarketing* ». Discipline récente, le neuromarketing utilise des dispositifs initialement biomédicaux pour étudier les réponses cérébrales aux stimuli publicitaires (Dragolea et Cotîrlea, 2011) et étudier une prise de décision économique particulière : celle de l'achat (Ouazzani *et al.*, 2011). Bien que ce domaine connaisse de nombreuses limites méthodologiques, rendant son efficacité relativement prospective (Dragolea et Cotîrlea, 2011), il semble qu'il apporte de potentiels nouveaux moyens d'adaptation des stratégies commerciales, qui répondraient plus adéquatement aux désirs des consommateurs, et définiraient ces derniers de façon plus pertinente (Ouazzani *et al.*, 2011).

La principale préoccupation concernant le développement du neuromarketing concerne la manipulation (Courbet et Benoit, 2013), au vu du déséquilibre qui pourrait apparaître entre le pouvoir du vendeur et celui de l'acheteur (Dragolea et Cotîrlea, 2011). Si ces techniques finissent par fonctionner, la crainte serait que l'on s'éloigne de la simple influence pour pencher de plus en plus du côté de la manipulation, soit vers une « utilisation délibérée de moyens de communication dans le but d'abuser du libre arbitre de la personne, à son insu et avec un objectif intéressé » (Courbet et Benoit, 2013 ; p. 6). Selon Courbet et Benoit (2013), ces pratiques sont une atteinte à la liberté rationnelle et poussent les consommateurs à ressentir un sentiment d'autodétermination les amenant à penser qu'ils ont acheté en toute liberté, réduisant par définition la liberté de choix des individus (Courbet et Benoit, 2013). La limite entre influence et manipulation est cependant difficile à déterminer, et le domaine du marketing utilise depuis longtemps différentes techniques pour influencer les consommateurs (Courbet et Benoit, 2013 ; Murphy, Illes et Reiner, 2008), incluant notamment les concepts et méthodes de la psychologie cognitive et sociale et des sciences de la communication (Courbet et Benoit, 2013). Néanmoins, la nouveauté ici vient du fait que le neuromarketing utilise des méthodes que le consommateur ne peut pas identifier et qui échappent à son contrôle. Ainsi, en offrant de potentiels moyens plus efficaces de manipulation du cerveau, il serait éventuellement possible de provoquer le comportement désiré sans que le consommateur ne s'en aperçoive (ou sans qu'il soit capable de s'en apercevoir) (Courbet et Benoit, 2013; Murphy, Illes et Reiner, 2008).

Également, on peut supposer que certaines recherches sur les comportements déviants peuvent avoir des applications en neurojustice sans pour autant avoir un intérêt pour la sécurité nationale, exemple qui ne relève pas de la détection de mensonge mais pourrait bien apparaître lors de procès. Pour n'en citer qu'une, l'étude réalisée par Schiltz et collaborateurs (2007) a tenté d'établir une corrélation entre la taille de l'amygdale droit et les comportements pédophiles (Schiltz *et al.*, 2007). L'utilisation de ces données dans le cadre de la neurojustice dans le cadre d'une « neurocorrection », en plus des risques éthiques mentionnés plus haut concernant le développement de cette discipline, ne serait pas sans craindre l'apparition d'un neurodéterminisme dangereux, le comportement d'un individu ne pouvant se résumer à ces seules bases biologiques (Vincent, 2014 ; Meynen, 2014, Fecteau *et al.*, 2013, Farah *et al.*, 2004). De plus, TMS et tDCS pourraient améliorer la mémoire de témoins oculaires, ce qui sans limitations pourrait poser des problèmes quant à la vie privée et à l'autonomie (Vedder et Klaming, 2010). Bien que ni la science ni la technologie ne sont aujourd'hui prêtes pour de telles applications, venir à utiliser des neurotechnologies afin de modifier ces comportements pose la question suivante : jusqu'à quel point peut on modifier le cerveau d'un humain, en particulier d'un criminel, sans aller à l'encontre de la liberté mentale (Vincent, 2014) ?

La neuroamélioration comme un mésusage de la recherche en neurosciences ?

Si les innovations à double-usage réfèrent aux recherches qui peuvent produire plus de potentiels dommages que de bien à la société (Selgelid, 2009, (b)), de nombreuses applications de la recherche en neurosciences tombent sous l'égide du concept. Une des applications de la recherche en neurosciences qui fait débat aujourd'hui est la neuroamélioration. Le domaine apporte en effet de nouvelles technologies qui pourraient permettre d'augmenter les performances de différentes fonctions cognitives, notamment chez les individus sains. Ces études ont d'intéressantes perspectives thérapeutiques, que celles-ci soit explicites (recherches sur des individus souffrants de différents troubles mentaux ou neurologiques), ou plus implicites (recherches sur des individus sains), les investigations sur le « normal » étant nécessaires à la compréhension du « pathologique ». Les connaissances en neuroamélioration chez le sujet non-malade pourraient permettre une certaine amélioration de la qualité de vie dans la population générale (Schutter, 2014), et nous permettent chaque jour un peu plus d'accès à la « boîte noire » qu'est notre cerveau. Mais les applications qui en découlent ne sont

pas sans risque. Ces usages, plus ou moins inattendus, se manifestent par un recours à ces technologies dans le cadre privé pour améliorer ses performances quotidiennes, lorsqu'on ne souffre pas de maladies clairement diagnostiquées (Chatterjee, 2006 ; Farah *et al.*, 2004 ; Farah *et al.*, 2014).

Il n'est pas courant d'appliquer le concept de double-usage aux recherches avec des perspectives de neuroamélioration lorsque l'on sort du domaine militaire, bien que certains auteurs parlent de « mésusages » ou « d'abus » lors d'utilisations en dehors du cadre clinique de technologies biomédicales (Dando, 2005; Racine, 2010 ; Cabrera, Evans et Hamilton, 2013). Si le concept n'est cependant que rarement nommé explicitement, le lien entre les préoccupations rattachées à la neuroamélioration et le double-usage est évident, comme lorsque l'on mentionne le « double-effet » de toutes médications, dont l'utilisation serait alors reliée aux mêmes enjeux que n'importe quel traitement, à savoir un usage « adapté » d'un côté et « inadapté » de l'autre, référant respectivement aux applications thérapeutiques et aux abus (Cabrera, Evans et Hamilton, 2013 ; McHugh, 2003). Les approches en santé publique considèrent en effet l'utilisation non-thérapeutique de substances pharmacologiques comme un « *drug misuse and abuse* » (Racine, livre, p. 12).

Le recours à la neuroamélioration pose quatre principales préoccupations, quelles que soient les technologies auxquelles on s'intéresse. Celles-ci concernent *la sécurité, la justice, l'autonomie et l'authenticité* (CCNE, 2014 ; Farah *et al.*, 2004; Chatterjee, 2006 Hildt, 2014 ; Farah *et al.*, 2014). Les enjeux sécuritaires concernent principalement les effets secondaires et inattendus qui accompagnent un usage non-médical. Ces effets sont hautement dépendant du type de technologies dont il est question, mais la prise de risque est pour chacune possiblement moins justifiée au vu des bénéfices qui sont moindres que dans le cas d'un traitement (Farah *et al.*, 2004; Chatterjee, 2006). Le niveau de risque minimum acceptable dans le cas de la neuroamélioration est à établir tant pour les applications quotidiennes que lors de protocoles de recherche qui impliquent des sujets non-malades : ce minimum acceptable doit être diminué proportionnellement à la diminution des bénéfices pour les participants (Farah *et al.*, 2004). Les bénéfices dont il est question sont également discutés. Si ces technologies pourraient permettre d'annuler ou de compenser certains déficits cognitifs, elles ont également commencé à jouer un rôle dans l'amélioration cognitive de sujets sains (comme la mémoire, l'attention, ou l'apprentissage), ce qui pourrait conduire à l'amélioration des performances que

requis au quotidien, comme lors d'entretien d'embauche ou d'examens (Farah *et al.*, 2004; Chatterjee, 2006). Que ce soit pour traiter ou pour améliorer les performances, les attentes envers ces technologies sont grandes : « *When seen in this respect, cognitive enhancement technologies can be viewed as a class of tools essential for the growth and survival of our species* » (Clark et Parasuraman, 2014, p. 889). Cependant, certains rappellent qu'à l'heure actuelle, l'état des connaissances est trop faible pour que les améliorations citées soient réellement permises, est il est nécessaire d'investiguer plus en profondeur les risques et effets secondaires, en particuliers ceux qui pourrait apparaître dans une utilisation à long terme (Hildt, 2014 ; CCNE, 2014 ; Farah *et al.*, 2014, Pustorvh, 2014 ; Canli *et al.*, 2007 ; Levasseur-Moreau, Brunelin et Fecteau, 2013).

S'il advenait que les différentes techniques d'amélioration fonctionnent, et que les risques se révèlent bénins, ces usages s'accompagneraient tout de même de risques éventuels. Le développement de la neuroamélioration s'accompagne également de préoccupations relatives à l'autonomie des individus, qui pourrait être atteinte par différents types de coercition (implicite, explicite ou sociétale) (CCNE, 2014 ; Farah, 2004; Chatterjee, 2006). Il est en effet envisageable de voir apparaître une coercition implicite issue de l'impératif de productivité de nos sociétés compétitives (CCNE, 2014 ; Farah, 2004). Celle-ci pourrait éventuellement prendre des conséquences disproportionnées dans les milieux particulièrement compétitifs comme le sport, où volonté de gagner et pressions exercées amènent déjà les athlètes à prendre des risques pour améliorer leurs performances (Chatterjee, 2006 ; Nielsen et Cohen, 2008).

Ces considérations ne sont pas seulement relatives à un nouveau type de dopage sportif et d'autres milieux à la concurrence marquée pourraient être touchés, comme les domaines militaire, académique ou commerciaux. Cette coercition pourrait devenir sociétale si l'on imagine une pression envers certaines classes d'individus qui pourrait se sentir forcés de se neuroaméliorer, comme les personnes aux comportements antisociaux (CCNE, 2014), ou des professionnels tels que les pilotes, qui prennent de meilleures décisions en situation d'urgence avec par exemple des inhibiteurs de la cholinestérase (Chatterjee, 2006). Par extension, on peut aussi imaginer une pression envers des corps de métier où praticiens agissent aussi en situation de stress et sont responsables de la vie d'autres individus, comme les urgentistes ou médecins humanitaires. Cette coercition deviendrait plus explicite si justice, employeurs,

enseignants ou parents venaient à obliger cette neuroamélioration (CCNE, 2014 ; Farah *et al.*, 2004). Le recours éventuel à une « neurocorrection » par le système judiciaire criminel suppose de potentielles atteintes à la liberté et à la vie privée non-négligeables (Farah *et al.*, 2004 ; Vincent, 2014 ; Meynen, 2014), considérations déjà observées sur le recours à la castration chimique de délinquants sexuels (Hamilton, Messing et Chatterjee, 2011). Les conséquences d'une influence sociale comme celle d'une coercition marquée risqueraient de nuire à la liberté de choisir ou non de se neuroaméliorer, pouvant ainsi mener à une atteinte au sentiment d'être unique et au droit à l'autodétermination (Schutter, 2014).

Une atteinte à la justice sociale est également envisageable, qui pourrait se manifester par l'apparition d'une classe « neuroaméliorée » (CCNE, 2014 ; Farah *et al.*, 2004). En effet, si les technologies neuroamélioratives viennent à se développer de plus en plus, on s'inquiète de la répartition équitable de ces dernières, qui pourrait être entravée par des barrières financières et sociales, risquant ainsi de renforcer l'écart entre personnes au statut socio-économique peu élevé et les autres, notamment dans les domaines de l'éducation ou de l'emploi (Farah *et al.*, 2004 ; Hamilton, Messing et Chatterjee, 2011 ; CCNE, 2014). Cependant, une inégalité naturelle place déjà les individus à différents niveaux de performances cognitives. La neuroamélioration pourrait alors, au contraire, permettre pour certains de diminuer ces inégalités. Le principe de justice peut ainsi être invoqué pour défendre un recours à des technologies afin de pallier cet écart naturel, en améliorant les individus en déficit ou simplement moins performants que les autres (Greely *et al.*, 2008). Dans cette optique, rendre les technologies de stimulation accessibles à tous serait un devoir moral. En effet, selon une approche libérale, qui relève surtout de la littérature transhumaniste, un individu doit être libre de choisir de se neuroaméliorer ou pas car il n'existe pas de différences substantielle avec autre type d'amélioration comme le tutorat ou l'exercice (Racine, 2010).

Enfin, le développement de ces technologies amélioratives posent des préoccupations relatives à l'authenticité et la personnalité, soit une possible entrave aux éléments à la base de notre vision de l'identité et ceux qui donne du sens à nos vie (Chatterjee, 2006 ; Racine, 2010 ; CCNE, 2014 ; Farah *et al.*, 2004). L'inquiétude relève ici de la facilité d'accès à la performance, l'enjeu concernant le sens et la nature de l'excellence humaine et du bonheur (Racine, 2010). Ces arguments méritocratiques réfèrent à une certaine vision du travail et de l'effort : « *No pain. No gain* » (Chatterjee, 2006). Ces visions, considérées comme plutôt

conservatrices, mettent en lumière l'impact négatif potentiel de l'amélioration cognitive sur la nature de l'accomplissement humain et sur les traditions culturelles qui ont soutenu le développement des cultures humaines à travers les siècles et servit jusqu'à maintenant à surmonter les problèmes que ces technologies pourraient résoudre (comme l'anxiété, le manque de sommeil, l'attention), au delà des considérations pour le respect des choix et préférences individuels (Racine, 2010, p.11). Ainsi, il serait un peu « tricher » que d'augmenter ses performances à l'aide de technologies biomédicales. Les questionnements quant à la nature humaine nous renvoient également à des préoccupations identitaires (peut-on réduire ce que nous sommes à nos données neurophysiologiques ?), dont découle des questionnements relatifs à la notion de responsabilité individuelle, au sentiment d'être unique et au droit à l'autodétermination (Trimper, Wolpe et Rommelfanger, 2014 ; Schutter, 2014 ; Tennison et Moreno, 2012 ; CCNE, 2014).

Ainsi, l'ensemble de ces préoccupations conduisent à des inquiétudes relatives au risque d'une possible distorsion des priorités de santé, à savoir qu'il n'est pas forcément souhaitable de mettre les ressources de ce domaine à la disposition de personnes « non-malades » dans un contexte de ressources limitées (CCNE, 2014 ; Forlini et Racine, 2012 ; De Ridder, Vanneste et Focquaert, 2014). Cette préoccupation est d'autant plus importante qu'il semble difficile d'établir une frontière claire entre le « normal » et le « pathologique » en ce qui concerne les troubles mentaux (CCNE, 2014 ; Maslen *et al.*, 2014, (a) ; Menuz, Hurrlimann et Godard, 2011, Pearce, 2014). Considérant la nature mouvante des normes, valeurs et objectifs médicaux dans nos sociétés contemporaines, une différenciation stricte est difficilement envisageable (Pustovrh, 2014). S'il existe des critères diagnostiques précis pour définir lorsqu'une personne est atteinte d'un trouble mental, notamment établis par les différentes versions du *Diagnostic and Statistical Manual* (DSM V, aujourd'hui à sa cinquième version), ces critères, qui changent régulièrement, ne font pas consensus. Par exemple, l'homosexualité a pu être définie comme un trouble mental, placée au rang de première déviation sexuelle par le DSM II publié en 1968 (Minard, 2009). L'établissement des nouveaux critères du dernier DSM a également provoqué des réactions réfractaires. Si l'on s'en tient à ces derniers, il est difficile de ne pas se retrouver dans la mire d'un trouble mental (Pearce, 2014). Au vu du phénomène de biomédicalisation de la société et en particulier, de la sous-performance, comme d'une certaine pathologisation de l'existence qui s'observe

aujourd'hui (Le Dévédec et Guis, 2013), il est particulièrement difficile de restreindre ces risques et enjeux aux seules personnes considérées comme « non-malades », cette notion risquant de référer, au final, à un spectre excessivement large d'individus.

Bien que les risques ne soient pas de la même envergure que ceux des mésusages traditionnels ou de défense nationale, les recherches aux mésusages non-militaire font face au même dilemme que celles au double usage plus évident. D'abord, les recherches qui amènent aux mésusages potentiels ont à la base le plus souvent des objectifs thérapeutiques, et c'est l'utilisation secondaire de ces données et technologies, à des fins autres que celles initialement envisagées, qui pose problème. L'intentionnalité du chercheur est également comparable : un tel passage à l'application dans le cadre de ces utilisations n'est pas dans ses objectifs. Le mésusage fait référence à un dommage à la société, ce qui est également le cas dans les mésusages présentés ici, bien qu'il ne s'agisse pas de bioterrorisme, au vu des risques éthiques qui découlent de leur développement. Enfin, ces recherches ne peuvent simplement être ignorées de part leurs intéressantes perspectives thérapeutiques et l'avancée de la science qu'elles permettent. Selon un principe de précaution, et vu l'ampleur de leur développement, ces technologies demandent de s'intéresser expressément aux risques éthiques associés à leurs usages.

Les technologies de stimulations transcrâniennes et leur dilemme

Des stimulations prometteuses

On distingue deux types principaux de stimulations cérébrales non-invasives : les stimulations magnétiques comme la TMS (*Transcranial Magnetic Stimulation*) et les stimulations électriques dont la tDCS (*Transcranial direct current stimulation*). Ces technologies de pointe deviennent d'intéressantes alternatives aux molécules chimiques, notamment car elles sont plus ciblées et avec moins d'effets secondaires reportés (Luber et Lisanby, 2014; Cabrera, Evans et Hamilton, 2013; Clark et Parasuraman, 2014). L'utilisation de stimulations magnétiques ou électriques pour stimuler le système nerveux n'est cependant pas nouvelle. Dans l'antiquité, les poissons électriques (*Torpedo fish*) été utilisés pour traiter la goutte et les maux de tête (Basford, 2001 ; Brunoni *et al.*, 2012). L'électrothérapie a continué de se développer au fil des siècles, et on retrouve des dispositifs similaires à la tDCS

au 11^{ème} siècle pour traiter les symptômes de l'épilepsie, au 18^{ème} siècle pour traiter la « mélancolie », et déjà en vente à l'époque Victorienne et Edwardienne, ou il était reporté des améliorations cognitives, sûrement dues à un effet placebo (Kadosh, 2015 ; Brunoni *et al.*, 2012). Ces innovations se sont toujours accompagnées à la fois de réactions sceptiques face au manque de preuves scientifiques qui assurent leur efficacité et d'une utilisation par des opportunistes profitant des espoirs du public (Basford, 2001).

Bien que l'on stimule le cerveau depuis 2000 ans, l'usage de stimulations externes est resté oublié lors du 20^{ème} siècle face à l'engouement pour les pharmacothérapies (Clark et Parasuraman, 2014 ; Kadosh, 2015) et l'image négative qu'on pu recevoir des stimulations transcrâniennes issue du recours à l'électroconvulsivothérapie, ou électrochocs, et de ses débordements (Kadosh, 2015). On observe cependant aujourd'hui un regain d'intérêt pour ces techniques, comme le montre la croissance exponentielle des publications en neurosciences sur la TMS et la tDCS dans la dernière décennie (plus de 100 articles entre 2001 et 2011 pour la tDCS, 200 pour la TMS) (Cabrera, Evans et Hamilton, 2013). Cet intérêt est issu de différents facteurs : une meilleure compréhension des phénomènes de plasticité cérébrale, l'identification possible des bases neuronales des fonctions cognitives grâce à un couplage à l'imagerie, l'effet des stimulations électriques sur les potentiels évoqués moteurs (Clark et Parasuraman, 2014). La dichotomie historique observée entre espoir du public et scepticisme médical (Basford, 2001) tend ainsi aujourd'hui à disparaître. Ces technologies sont des outils de recherche au potentiel élevé afin de comprendre les mécanismes qui sous-tendent des fonctions telles que la perception ou la cognition (Duecker, de Graaf et Sack 2014), et connaissent de prometteuses perspectives tant thérapeutiques qu'amélioratives (Clark et Parasuraman, 2014).

Si les stimulations magnétiques transcrâniennes, c'est à dire la TMS et ses dérivés, sont aujourd'hui largement utilisées dans un but neuroamélioratif, il n'en a pas toujours été ainsi. Au départ, la TMS était un outil de recherche fondamentale servant à la création de lésions cérébrales virtuelles, soit inhiber le fonctionnement de certaines zones cérébrales déterminées de façon réversible, afin de valider leur rôle dans certaines fonctions cognitives particulières, permettant de mettre en avant des processus physiologiques particuliers ou d'établir des liens cérébro-comportementaux (Clark et Parasuraman, 2014 ; Miniussi, Ruzzoli et Walsh, 2010 ;

Sehm et Ragert, 2013). L'amélioration des performances était donc un effet inattendu de ces recherches, voir paradoxale.

Les TMS sont de brèves stimulations magnétiques de haute intensité qui vient dépolariser les neurones d'une région ciblée du cortex cérébral (Luber et Lisanby, 2014 ; Miniussi, Ruzzoli et Walsh, 2010). Différents paramètres vont permettre de jouer sur l'effet escompté. Les stimulations à basses fréquences (environ 1 Hz) vont diminuer l'excitabilité neuronale tandis que les stimulations hautes fréquences (5 à 20 Hz) vont l'augmenter (Luber et Lisanby, 2014 ; Miniussi, Ruzzoli et Walsh, 2010). Les effets dépendent également de la zone cible, de la durée de la stimulation et éventuellement de la durée de la tâche réalisée lors de la stimulation (Luber et Lisanby, 2014 ; Miniussi, Ruzzoli et Walsh, 2010). Les effets secondaires reportés sont des céphalées et de rares crises d'épilepsie (Luber et Lisanby, 2014).

La tDCS, autre dispositif de stimulation transcrâniennes, vient modifier l'excitabilité neuronale à l'aide de stimulations électriques. Selon que l'électrode utilisée est anodale (courant négatif) ou cathodale (courant positif), cette excitabilité va être respectivement augmentée ou diminuée (Coffman, Clark et Parasuraman, 2014). Comparé à des dispositifs homologues de stimulation, la tDCS est un dispositif très peu coûteux (environ 200 dollars, vendu en ligne) (Pustorvh, 2014 ; Hildt, 2014). De plus, cette technologie de petite taille fonctionnant sur batterie, elle est facilement transportable. La simplicité apparente d'utilisation la rend relativement accessible, si bien qu'on peut aujourd'hui se la procurer sur internet, voir fabriquer sa propre tDCS via les tutoriels YouTube disponibles (WindowsSoftwareDe, 2013 ; anthonyneelee 2012 (a) et (b)). Les effets secondaires associés à l'utilisation de la tDCS sont relativement bénins (irritation de la peau, maux de tête et fatigue), bien que quelques rares *black-out* ou arrêt temporaire respiratoire aient été reportés (Nitsche *et al.*, 2003 ; Pustorvh, 2014 ; Dubljević, 2014 ; Poreisz *et al.*, 2007). La tDCS peut également provoquer des phosphènes (court *flash* lumineux) si le courant est coupé ou allumé brusquement (Nitsche *et al.*, 2003).

Ces technologies connaissent d'intéressantes perspectives thérapeutiques. En augmentant l'excitabilité du cortex moteur primaire ipsi-lésionnel et en diminuant celle du cortex moteur primaire contro-lésionnel, TMS et tDCS induisent également de prometteurs changements sur la plasticité spinale et corticale (Nielsen et Cohen, 2008), permettant une éventuelle meilleure récupération après un accident vasculaire cérébrale (AVC), corrigeant la

persistance d'une possible inhibition inter-hémisphérique (Nielsen et Cohen, 2008). Dans une revue de la littérature sur les effets neuroamélioratifs de la TMS publié en 2014, 61 études aux résultats significatifs ont été relevées (Luber et Lisanby, 2014). Parmi ces études, différentes concernent l'usage de la TMS pour un éventuel traitement de troubles cognitifs ou maladies psychiatriques tels que la dépression, la maladie de Parkinson, l'épilepsie, ou l'hyperalgésie (Luber et Lisanby, 2014). Chez le sujet sain, on observe une amélioration des performances dans diverses tâches cognitives qui impliquent la mémoire, l'attention, le langage ou les fonctions exécutives (Luber et Lisanby, 2014 ; Cabrera, Evans et Hamilton, 2013). La TMS provoque également des changements adaptatifs essentiels à la mémoire dans la réalisation de tâches motrices et ce pour une habileté durable de mouvements hautement qualifiés comme ceux requis dans les sports olympiques (Nielsen et Cohen, 2008). La TMS est également un outil diagnostique potentiel, de part le fait qu'elle permet de mesurer la plasticité cérébrale, et ainsi évaluer les effets délétères d'accident sur celle-ci, permettant d'évaluer différentes atteintes neuromotrice en donnant de l'information sur l'état de la voie corticospinale (Dimyan et Cohen, 2010). Elle aide ainsi, par exemple, au diagnostic de paralysies psychogènes, en identifiant les potentiels évoqués moteurs MEPs (*Motor evoked potentials*) et les *Central Motor Conduction* (CMC) normaux, ou dans le pronostic de récupération après un AVC (une absence de MEPs est observée dans membres paralysés quand le pronostic de récupération est fortement mauvais, les gains sont cependant significatifs lorsqu'ils sont présents) (Dimyan et Cohen, 2010).

De son côté, la tDCS semble être une alternative prometteuse au traitement pharmacologique usuel de nombreux troubles, notamment préconisé dans le traitement de déficiences cognitives légères, de la dépression, de la maladie d'Alzheimer, du trouble déficitaire de l'attention avec hyperactivité (Clark et Parasuraman, 2014 ;). La tDCS permet également d'observer de diminuer le déclin cognitif de personnes âgées au vieillissement normal (Hsu *et al.*, 2015). Chez les personnes « saines » et dans un contexte de recherche, son utilisation a déjà démontré de larges améliorations de la mémoire et de l'apprentissage (en particulier de l'apprentissage moteur), d'autant plus lorsqu'elle est couplée avec une activité d'entraînement (tâches d'apprentissage) (Levasseur-Moreau, Brunelin et Fecteau, 2013 ; Coffman, Clark et Parasuraman, 2014). D'autres études ont permis d'observer une amélioration de l'attention, de l'acquisition langagière ou de la résolution de problèmes

(Coffman, Clark et Parasuraman, 2014). Enfin, la tDCS pourrait avoir des effets positifs sur certains paramètres de l'humeur. Il a été démontré qu'après stimulation, les facies d'autrui sont perçus comme plus positif et plus amicaux, ce qui démontre une amélioration des processus émotionnels positifs, bien qu'elle n'influence pas les états émotionnels subjectifs des individus (Clark et Parasuraman, 2014).

Considérant la précision de ces technologies, la TMS possède une haute résolution temporelle, mais une faible résolution spatiale (Luber et Lisanby, 2014) ; tandis que la tDCS possède à la fois une faible résolution temporelle et spatiale (Cabrera, Evans et Hamilton, 2013). Le développement de dérivés permet cependant de remédier à ce manque de précision, comme la HD tDCS, aux électrodes plus petites et donc plus ciblées, ou la *repetitive TMS* (rTMS), qui vient pallier le manque de précision temporelle (Cabrera, Evans et Hamilton, 2013). Les effets amélioratifs de la tDCS peuvent s'observer de 24 heures après la stimulation (Clark et Parasuraman, 2014) jusqu'à 6 mois (Cohen Kadosh dans Maslen *et al.*, 2014, (a)). Des améliorations durant de 20 minutes à 2 heures ont été reportées pour la TMS, allant jusqu'à 8 semaines dans une étude chez les sujets âgés (Luber et Lisanby, 2014).

Bien que ces technologies sont de plus en plus utilisées, les mécanismes exacts à la base de leurs fonctionnement ne sont pas encore clairement identifiés (Miniussi *et al.*, 2010; Levasseur-Moreau, Brunelin et Fecteau, 2013 ; Luber, 2014, Duecker, de Graaf et Sack 2014 , Pustovrh, 2014). Différents types de mécanismes d'action semblent possiblement responsables des effets neuroamélioratifs de la TMS et de la tDCS. La TMS agit en potentialisant localement l'activité neuronal de la zone stimulée pour une brève période, ou en perturbant des processus en compétition ou qui font distraction aux performances lors de la tâche. Elle pourrait provoquer, par exemple, une amélioration par la génération d'inhibition inter-hémisphérique (Luber et Lisanby, 2014). Des effets non-spécifiques à la TMS pourraient également être responsables de l'amélioration observée, comme le bruit ou les vibrations mécaniques produites par les stimulations, qui provoqueraient des sensations auditives et somatosensorielles responsables d'un phénomène appelé « facilitation intersensorielle » (Luber et Lisanby, 2014). Ce phénomène pourrait, par exemple, diminuer les temps de réaction, selon un effet purement psychologique (Luber et Lisanby, 2014). En ce qui concerne la tDCS, les mécanismes exacts à la base de ses effets amélioratifs sont également méconnus. Une stimulation anodale excitatrice diminuerait le seuil de décharge neuronale, en augmentant

la concentration de glutamate (neurotransmetteur excitateur) ou en diminuant la concentration d'acide gamma-aminobutyrique (GABA, diminue l'activité nerveuse), agissant également potentiellement sur le facteur de croissance BDNF (qui favorise la survie des neurones, leur croissance et leur différenciation) (Levasseur-Moreau, Brunelin et Fecteau, 2013 ; Coffman, Clark et Parasuraman, 2014).

Si différents modèles conceptuels non-exclusifs pourraient expliquer le fonctionnement de ces dispositifs (Levasseur-Moreau, Brunelin et Fecteau, 2013 ; Luber et Lisanby, 2014), un des modèles explicatifs particulièrement intéressant est celui de la *zero-sum theory*, également appelé *addition-by-soustraction* (Luber et Lisanby, 2014 ; Luber, 2014 ; Levasseur-Moreau, Brunelin et Fecteau, 2013 ; Brem *et al.*, 2014). Ce modèle suppose que la capacité cérébrale se résume en un jeu à somme nulle, soit que le cerveau possède une capacité totale finie, qui implique qu'un gain cognitif s'accompagnera forcément d'un impact négatif sur une ou plusieurs autres fonctions (Levasseur-Moreau, Brunelin et Fecteau, 2013 ; Brem *et al.*, 2014). L'amélioration des performances serait ainsi issue d'une réallocation des ressources cérébrales (Levasseur-Moreau, Brunelin et Fecteau, 2013 ; Brem *et al.*, 2014). Le cerveau favoriserait les bases cérébrales responsables de la performance recherchée, au détriment des réseaux neuronaux concurrents et responsables de besoins non-essentiels ou moins essentiels (Luber et Lisanby, 2014 ; Luber, 2014). S'il est nécessaire de valider ce modèle, c'est qu'il permettrait de porter beaucoup plus d'attention aux effets secondaires indésirables associés à la neuroamélioration, ce qui a pu être négligé jusqu'à aujourd'hui (Luber, 2014).

Les applications amélioratives de ces technologies sont relativement prospectives, les résultats étant pour l'instant simplement expérimentaux, bien que de plus en plus d'études cherchent à se doter d'une plus grande validité écologique afin de permettre des améliorations similaires dans des contextes de vie réelle (De Ridder, Vanneste et Focquaert, 2014, McKendrick, Parasuraman et Ayaz, 2015). Notamment, ces technologies pourraient être une aide non négligeable pour les professions qui requièrent une attention soutenue, comme les pilotes ou les contrôleurs aériens (McKendrick, Parasuraman et Ayaz, 2015). Cependant, certains s'inquiètent du développement du recours à ces technologies dans le monde du travail, tout comme dans différents milieux compétitifs, tels que ceux académiques, commerciaux, militaires, sportifs ou du jeux vidéos (Caplan, 2004 ; Dubljevic, 2014 ; Farah *et al.*, 2014, Hamilton, Messing et Chatterjee, 2011; Madan, 2014). De plus, ces dispositifs pourraient

venir aider à faire face à différents impératifs de la vie quotidienne, comme les entretiens d'embauche, les examens, ou la gestion du stress. Certaines études en neuroergonomie viendraient même tenter d'aider à dépasser le décalage de plus en plus important entre les habilités humaines et les capacités croissantes des technologies modernes par le biais de ces stimulations (Luber et Lisanby, 2014). Cependant, ces applications non-thérapeutiques amènent à différentes préoccupations.

Des usages potentiellement problématiques

L'usage des technologies de stimulations transcrâniennes s'accompagne des risques et enjeux présentés plus tôt qui viennent avec tous comportements neuroamélioratifs, à savoir les atteintes potentielles à la sûreté et à la sécurité, à l'autonomie, à la justice ou encore à l'authenticité. Cependant, ces risques et enjeux revêtent un aspect tout particulier lorsqu'il s'agit de ces dispositifs. Si l'on s'intéresse aux bénéfices potentiels des technologies de stimulations transcrâniennes dans l'amélioration des performances quotidiennes, la liste est longue et ne cesse de croître au fil de l'avancement des études sur le sujet. Comme mentionné précédemment, il est envisageable, ou du moins envisagé, de venir aider des personnes à gérer les impératifs de leur quotidien à l'aide de stimulations. Mais si l'on cherche à connaître les bénéfices réels et valides qu'elles permettent à l'heure actuelle, le discours est quelque peu différent.

En effet, le passage de ces technologies du laboratoire à la vie réelle n'est pas encore possible sans faire plus d'études pour garantir la validité écologiques des tâches expérimentales, à savoir, assurer le contrôle de facteurs externes qui pourraient avoir un impact sur les effets escomptés, comme lorsqu'il s'agit d'agir en situation de stress (Levasseur-Moreau, Brunelin et Fecteau, 2013). Ceci est particulièrement pertinent pour les études sur les individus non-malades (Purstovh, 2014 ; Hildt, 2014) On considère aussi qu'il existe des biais méthodologiques non-négligeables : les participants aux recherches sont des volontaires, ceux qui n'est pas sans effets sur les résultats (CCNE, 2014). De plus, on peut se demander si ces technologies sont suffisamment puissantes pour avoir un réel impact dans une optique d'amélioration des performances, notamment concernant leur magnitude et leur durée (Levasseur-Moreau, Brunelin et Fecteau, 2013). Ainsi, les bénéfices potentiels sur les

individus sains sont loin d'être démontrés, et demandent de réaliser plus d'études dans le sens de leur validation. Plusieurs auteurs rappellent ainsi que l'efficacité réelle de ces technologies n'étant pas démontré dans le cadre de ces usages, les améliorations promises et citées ne sont à leur actuelle pas possible (Hildt, Duecker, de Graaf et Sack 2014 , Pustovrh, 2014 ; Clark et Parasuraman, 2014 ; Coffman, Clark et Parasuraman, 2014)

Lorsqu'il s'agit de confronter ces bénéfiques potentiels aux risques, l'appréciation se confronte encore à l'incertitude. Une des premières considérations liées l'usage des stimulations transcrâniennes concerne la sûreté et la sécurité liées aux usages de ces technologies en dehors des contextes cliniques ou investigatoires (Pustovrh, 2014; Cabrera, Evans et Hamilton, 2013, Hildt, 2014). Généralement considérées comme sûres, ces technologies utilisées sur des milliers de sujets ont seulement démontrées des effets secondaires transitoires et légers, comme des maux de tête ou de la fatigue (Pustovrh, 2014). Lorsque les effets secondaires reportés ne sont pas bénins, tels que les *black-out*, crises d'épilepsie et arrêt temporaire respiratoire, ils sont relativement rares (Pustovrh, 2014, Levasseur-Moreau, Brunelin et Fecteau, 2013, Dubljević ; 2014). Cependant, des effets secondaires inattendus pourrait bien survenir, qu'il s'agisse d'effets à long-terme qui n'ont pu être observés de part le manque de recul, ou d'effets indésirables qui pourraient apparaître lors de situations non-investigées à l'heure actuelle, comme par exemple chez les enfants ou les femmes enceintes (Maslen *et al.*, 2014, (b) ; Minhas *et al.*, 2012). Les mécanismes à la base du fonctionnement de ces technologies étant encore peu compris, certains s'inquiète du coût cognitif de l'usage de stimulations transcrâniennes. En effet, il se pourrait que quand une habilité est augmentée, ce soit au détriment d'une autre (Brem *et al.*, 2014 ; Iuculano et Kadosh, 2013). Ces inquiétudes supposent l'existence d'un mécanisme cérébral qui fonctionne tel un « *zero-sum game* », comme expliqué précédemment (Brem *et al.*, 2014). Cependant, cette vision ne fait pas consensus : si certaines études montrent que l'amélioration issue de stimulations cérébrales transcrâniennes est le résultats de réallocations des ressources, d'autres montrent que ces technologies permettraient une addition au ressources préexistantes, d'autant qu'un coût n'est pas toujours clairement identifié lors d'une réallocation (Luber, 2014).

Or, ce manque de connaissance sur les risques potentiels est d'autant plus problématique que les technologies sélectionnées sont largement considérées comme non-

invasives, souvent renommées *non-invasive brain stimulation* (NIBS) (Duecker, de Graaf et Sack 2014, Davis et van Koningsbruggen, 2013). Cette notion de non-invasivité risquerait de conduire à des mésinterprétations, pouvant notamment conférer un sentiment erroné d'innocuité (Hildt, 2014 ; Cabrera, Evans et Hamilton, 2013 ; Davis et van Koningsbruggen, 2013). Les technologies de stimulations transcrâniennes sont, indéniablement, bien moins invasives que les stimulations cérébrales profondes ou les molécules chimiques. Il est néanmoins nécessaire de s'intéresser au degré d'invasivité qui leur est associé, au regard d'autres technologies.

L'électroencéphalographie (EEG) est par définition non-invasive : les électrodes utilisées sont des électrodes d'enregistrement, qui ne font que détecter l'activité endogène produite. Les électrodes des dispositifs NIBS sont, cependant, des électrodes émettrices, les ondes électriques ou magnétiques pénétrant bel et bien à l'intérieur de la boîte crânienne. Il existe ainsi une différence d'invasivité fondamentale entre NIBS et, par exemple, EEG et *deep brain stimulation* (DBS). En présentant ces dispositifs comme non-invasifs, les individus (patients, participants ou simples utilisateurs) pourraient naïvement surestimer les bénéfices et sous-estimer les risques (Hildt, 2014 ; Davis et van Koningsbruggen, 2013). Il peut cependant être considéré que les renommer comme explicitement invasives les associerait alors à un caractère dangereux peut-être exagéré, ce qui risquerait de provoquer une peur infondée (Davis et van Koningsbruggen, 2013). Il a ainsi été proposé de présenter ces dispositifs comme des « techniques de stimulations cérébrales », sans mention relative à l'invasivité (Davis et van Koningsbruggen, 2013). Reconnaître le caractère invasif de ces dispositifs n'étant pas négatif en soi, l'utilisation de la tDCS ou de la TMS dans les protocoles de recherche pouvant être considéré comme relativement sûre, la proposition de présenter ces technologies comme « *minimally invasive* » (Cabrera, Evans et Hamilton, 2013) semble également pertinente, soulignant le fait qu'elle impose un courant ou un champ magnétique exogène à l'organisme.

De ces risques éventuels découlent des considérations comparables à toutes technologies amélioratives. On s'inquiète notamment de l'atteinte au consentement éclairé des individus qui pourrait avoir à utiliser ces dispositifs, au vu du manque de connaissances tant sur les risques que sur les bénéfices (Hildt, 2014 ; Cabrera, Evans et Hamilton, 2013, Hamilton, Messing et Chatterjee, 2011). Les stimulations externes provoquant des modifications physiologiques

ayant un effet sur le comportement des individus, donc sur une partie de ce qui peut nous définir en tant qu'être, leur utilisation pose des risques d'atteinte à l'autonomie, au regard de ces effets sur la validité du consentement, de la prise de décision, et d'éventuelle atteintes à la personnalité et à l'identité (Cabrera, Evans et Hamilton, 2013; Pustovrh, 2014 ; Hamilton, Messing et Chatterjee, 2011). De plus, ces modifications potentielles amènent à d'autres préoccupations : « *The ability of tDCS to trigger behavioral changes in individuals, such as reducing the propensity to punish unfair behavior or influencing compliance with socially constituted sanctions, poses strong concerns regarding the abuse potential of triggering (nonconsensual) manipulative changes in individual behavior* » (Pustovrh, 2014).

Les questionnements relatifs à l'authenticité n'épargnent pas non plus ces dispositifs, si l'on venait à les utiliser dans les milieux compétitifs pour améliorer mémoire, attention, ou fonction motrice (Pustovrh, 2014 ; Nielsen et Cohen, 2008; Hamilton, Messing et Chatterjee, 2011). Par exemple, au vu des effets sur l'excitabilité et la plasticité motrices de la TMS et tDCS, on peut envisager ces dernières non pas seulement comme d'excellents outils de réhabilitation, mais d'éventuels dispositifs de dopage athlétique efficaces, que certains imaginent déjà sur la liste des remèdes dopants illégitimes (Nielsen et Cohen, 2008) On peut également s'inquiéter de la sollicitation des professionnels de santé dans l'utilisation de ces technologies pour soigner des troubles cognitifs qui font aujourd'hui partie du spectre du « normal », pente glissante de la nécessité clinique (Cabrera, Evans et Hamilton, 2013), rejoignant les enjeux relatifs tant à l'allocation des ressources en santé, qu'à l'expertise de ces professionnels dans l'attribution de dispositifs biomédicaux en vue de se neuroaméliorer (De Ridder, Vanneste et Focquaert, 2014 ; King, Gavaghan et McMillan, 2014 ; Forlini et Racine, 2012).

Enfin, il est à noter que les recherches en neuroamélioration sur des participants sains connaissent des limites : l'amélioration observée dépend du contexte, de la motivation, de l'effort mental et des différences individuelles (Schutter, 2014). Ces limites sont également méthodologiques, les participant recrutés étant volontaires, ce qui n'est pas sans avoir un impact sur l'effet escompté (CCNE, 2014) et restreignent ainsi le passage de la recherche à la pratique (Schutter, 2014). Les applications neuroamélioratives des technologies de stimulations transcrâniennes ainsi que les problématiques qui s'y rattachent sont donc prospectives, bien que les avancées rapides dans le domaine laissent supposer qu'elles seront

rapidement dépassées (Schutter, 2014). Cependant, cette prospectivité n'est que relative, la mise en vente en ligne de la tDCS pour l'amélioration des performances quotidiennes étant déjà amorcée (Thync.com, 2015 ; Foc.us, 2015). Ainsi, les technologies de stimulations transcrâniennes sont à la fois de potentiels outils thérapeutiques et investigatoires prometteurs et d'éventuels outils de « neuroamélioration » quotidienne problématiques. S'il est nécessaire de faire plus d'études pour valider le poids des risques et des bénéfices associés à leurs usages, la dualité qui concerne leur développement rend l'application du concept de double-usage de la recherche aux enjeux mentionnés relativement intéressante. Ouvrir le concept aux perspectives amélioratives des technologies de stimulations transcrâniennes est donc pertinent pour réfléchir à la gestion actuelle et future de leurs usages, qui tendent inévitablement à se développer.

Prévenir et spéculer : ouvrir raisonnablement le concept

Nous n'avons que très peu de données sur la prévalence des usages neuroamélioratifs de technologies médicales à l'heure actuelles (Schleim, 2014 ; Racine *et al.*, 2014). Certaines études ont montré que l'usage de psychostimulants comme les amphétamines ou le métylphénidate dans les universités américaines s'est élevée à 7%, allant jusqu'à 25% sur certains campus (Greely *et al.*, 2008). Selon une autre étude, 20% des lecteurs de la revue *Nature* utiliseraient des psychostimulants pour améliorer leur concentration (Maher, 2008 dans Dijkstra et Schuijff, 2015). Concernant les stimulations cérébrales transcrâniennes, des études comparables ne sont pas encore disponibles, car leur mise sur leur marché pour des usages neuroamélioratifs est prospective (en ce qui concerne la TMS) voit très récente (pour ce qui est de la tDCS). Les améliorations promises par les sites web qui vendent la tDCS sont également aujourd'hui peu probables, l'amélioration des performances étant difficilement transférable du laboratoire à la vie de tous les jours pour un usage quotidien (Hildt, 2014 ; Purstovh, 2014 ; Schutter, 2014). Ainsi, les usages amélioratifs de stimulations cérébrales transcrâniennes comme les enjeux qui en découlent sont prospectifs, et issus de réflexions spéculatives retrouvées dans la littérature en bioéthique (Le Dévédec et Guis, 2013 ; Racine *et al.*, 2014). Cependant, considérant le développement imminent de ces technologies, et en vue d'une certaine proactivité, il semble justifié de se pencher rapidement sur ces préoccupations.

En effet, une approche préventive suppose de venir encadrer ces recherches de part les risques éthiques potentiels qui en découlent. L'utilisation du concept de double-usage est ainsi d'autant plus intéressante qu'il présuppose d'agir selon un principe de précaution (Kuhlau *et al.*, 2011), et de réagir à l'implémentation sociale des connaissances et technologies de recherche de façon proactive, avant que l'usage ne se développe. Le principe de précaution fait son apparition en droit dans la fin des années 1970 en Allemagne où il est repris dans les lois et jurisprudences des tribunaux administratifs sous le nom de « *Vorsorgeprinzip* » (Prieur, 2006). C'est lors de la Déclaration de Rio issue de la conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement en 1992 qu'il acquiert un statut international, l'article 12 de cette déclaration stipulant que l'absence de certitude scientifique absolue ne peut remettre à plus tard l'adoption de mesures effectives visant à prévenir la protection de l'environnement (Nations Unies, 1992). En 1998, il est étendu aux problèmes de santé publique lors de la Wingspread Conference, où il est reconnu que lorsque une activité soulève une menace pour la santé humaine ou l'environnement, il est nécessaire de mettre en place des mesures de précaution bien qu'une preuve scientifique de cause à effet ne soit pas établie (Mathieu et Williams-Jones, sous-presse (b)).

La réflexion morale sur comment agir face à la présence de risques incertains n'est pas nouvelle. On retrouve dans la prudence d'Aristote une morale du faire liée à l'indétermination qui suppose la délibération et le passage à l'action. Cette prudence dicte d'agir mais ne reconnaît en aucun cas le faire avec la connaissance d'une vérité absolue (Grison, 2008). Il est également reconnu que le principe de précaution découle directement du principe de responsabilité de Hans Jonas (Bourg et Papaux, 2008; Larrere, 2003; Grison, 2008). Ce dernier apparaît face au développement des technologies modernes et leurs problèmes éthiques nouveaux, dont il semble impossible de séparer les conséquences bénéfiques des effets dommageables (Larrere, 2003). L'essor technoscientifique n'est plus problématique seulement en fonction de ses ratés mais aussi de part ses réussites (Bourg et Papaux, 2008). Dans sa perception de la responsabilité face au risque, ce dernier est conçu au sens le plus large possible : il s'agit de toujours imaginer les pires conséquences possibles face au développement de nouvelles technologies (Bourg et Papaux, 2008). Plus flexible que cette heuristique de la peur du principe de responsabilité (Larrere, 2003), accusé bien souvent de catastrophisme réducteur difficilement concevable si l'on veut protéger le progrès (Godard,

2006), la lecture du principe de précaution est plus souple et se fait selon une analyse coûts-bénéfices des questions relatives aux conséquences de l'utilisation de techniques (Lecourt, 2007).

Le principe de précaution suppose ainsi d'agir face à l'existence d'un risque associé à un dommage, bien qu'ils soient reliés à une incertitude (Boisson de Chazournes, 2002). Si ce principe est invoqué dans les problèmes de double-usage de la recherche, c'est donc de part la menace et l'incertitude qui concerne ce dernier (Kuhlau *et al.*, 2011). La menace est issue du potentiel mésusage de ces recherches, à savoir ici l'utilisation des technologies de stimulation transcrânienne en dehors du cadre clinique ou investigatoire. Les risques associés, bien qu'incertains, correspondent aux préoccupations sécuritaires qui accompagnent ces usages, tout comme aux enjeux éthiques relatifs à l'atteinte à l'autonomie par une certaine pression sociale, à la justice ou encore à l'authenticité. L'incertitude est liée tant à la probabilité que ces applications se produisent un jour qu'à l'apparition de ces risques si ces applications venaient à apparaître. La principale incertitude réside dans l'efficacité des technologies pour améliorer les performances quotidiennement (un des prédisposé essentiel à l'apparition des enjeux éthiques mentionnés) et les effets secondaires inattendus ou à long termes qui pourraient apparaître (rendant ainsi une analyse bénéfice-risque adéquate difficile à réaliser) (Cabrera, Evans et Hamilton, 2013 ; Hildt, 2014).

Cependant, il est nécessaire de clarifier certains points concernant l'utilisation de ce principe dans le cadre des usages et technologies mentionnés. Le principe de précaution est souvent accusé de principe d'immobilisme ou d'abstention (Kuhlau *et al.*, 2011; Lecourt, 2007). Il viendrait limiter l'avancée de sciences et mènerait au développement d'une méfiance disproportionnée, notamment envers l'expertise scientifique (Lecourt, 2007). Un principe trop réducteur se traduirait ici par la simple censure des recherches énoncées et ne permettrait pas de réfléchir à d'autre mode d'encadrement. Cependant, le principe de précaution peut également être considéré comme un moteur de l'avancée scientifique : étant lié à l'incertitude, il est inversement proportionnel aux connaissances et pousse à intensifier les recherches pour diminuer ces incertitudes (Prieur, 2006). De plus, si ce principe en appelle à la peur difficilement compatible avec une gestion démocratique, il se trouve que c'est un bon moyen d'accorder de l'importance à cette gestion pour recourir au pouvoir politique (Larrere, 2003). Il n'est cependant pas nécessaire d'entrer dans le débat normatif qui concerne le principe de

précaution lors de son utilisation dans les réflexions concernant l'éthique de la recherche à double-usage : il intervient ici comme guide moral pour venir justifier la nécessité d'un encadrement. L'approche à favoriser dans le cadre de ce mémoire n'est pas tant celle d'un principe de précaution comme cadre théorique que celle d'un principe de précaution comme principe d'action.

Dans la littérature, le principe de précaution se justifie beaucoup par la notion d'irréversibilité et, notamment en droit, de risques environnementaux ou pour la santé publique (Bourg et Papaux, 2008). Ici, il semble que pour que ce principe s'applique il nécessite une vision plus élargie du risque, qui ne se restreint pas aux dégâts matériels mais également à la modification de la condition humaine (Bourg et Papaux, 2008). Ce principe doit tenir compte des bénéfices encourus, même si ce n'est pas toujours observé (Lecourt, 2007) et peut supposer différents modes d'action, de la simple recommandation à l'interdiction (Bourg et Papaux, 2008). Ainsi, ce principe semble applicable si l'on s'accorde avec le fait qu'il n'est pas forcément absolu et moralement justifié au vu des risques encourus (Kuhlau *et al.*, 2011). Il est donc acceptable de justifier l'encadrement du double-usage de la recherche en neurosciences selon un principe de précaution avec une vision non-absolue de ce dernier et un élargissement de la notion de risque. Ceci est d'autant plus acceptable qu'aucune définition consensuelle n'existe aujourd'hui et que les auteurs ne semblent pas s'accorder sur ce qu'il implique précisément (Boisson de Chazournes, 2002, Kuhlau *et al.*, 2011 ; Lecourt, 2007), ce qui peut être vu comme une forme de flexibilité pour son application au double usage (Kuhlau *et al.*, 2011).

Enfin, l'application du principe nécessite que les dommages associés aux risques, bien qu'incertains, soient fondés sur des données plausibles bien que non-probantes (Bourg et Papaux, 2008). Or, l'aspect spéculatif des préoccupations éthiques en ce qui concerne la neuroamélioration est régulièrement critiqué (Racine *et al.*, 2014, Schleim, 2014 ; Attiah et Farah, 2014), certains auteurs qualifiant le débat sur l'amélioration humaine de « débat fantôme » car basé sur des spéculations erronées, (Quednow, 2010) qualifiant d'« abusif » le transfert des essais clinique au « bien-être » (Schleim, 2014). La prospectivité impose cependant d'avoir recours à des spéculations sur ce qui pourrait advenir si les technologies qui nous intéressent viennent à se développer. Bien que ces préoccupations prospectives se justifient par un principe de précaution, il est important de se détacher de la réaction

émotionnelle issue des perspectives futuristes et sûrement irréalistes dans la description des enjeux éthiques (Attiah et Farah, 2014). Trop focaliser sur les enjeux à long terme risquerait de faire oublier les enjeux à court terme beaucoup plus imminents et risquerait de diminuer la crédibilité d'un discours qui relèverait plus alors de la science-fiction que de la science (Attiah et Farah, 2014).

En revanche, rendre ces enjeux moins urgents ne signifie pas qu'ils ne méritent pas une attention particulière. S'il est plausible de considérer que le débat qui anime bioconservateurs et biolibéraux « *est un débat prospectif qui néglige la dimension actuelle de l'humain augmenté* » (Le Dévédec et Guis, 2013, p. 4), certains des enjeux qui accompagnent les usages neuroamélioratifs des technologies de stimulations transcrâniennes sont actuels. Différents éléments viennent justifier le fait que les applications qui semblent problématiques ont une certaine probabilité de survenue. D'abord, le champ de recherche qui concerne la neuroamélioration par le biais de stimulations transcrâniennes prend rapidement de l'ampleur (Schutter, 2014 ; Dubljević, Saigle et Racine, 2014 ; Clark et Parasuraman, 2014 ; Cabrera, Evans et Hamilton, 2013), ce qui laisse supposer que les limites actuelles ont une certaine chance d'être dépassées. De plus, les exemples de mise en pratique cités – à savoir, les applications militaires, juridiques, et dans la population générale – ont une incidence plausible. Comme mentionné auparavant, la DARPA Américaine finance de nombreux projets en neuroamélioration et dispose d'un budget considérable (Moreno, 2012), ce qui laisse supposer une future apparition d'applications militaires.

La *neurojustice* se développe quant à elle de plus en plus, l'utilisation de l'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) fonctionnelle dans les cours de justice faisant aujourd'hui l'objet de débat dans plusieurs pays, tout comme l'utilisation de substances « compliférantes » afin d'obtenir des aveux ou de provoquer le comportement souhaité (Larrieu, 2012). Il est aujourd'hui légal en France de remédier à l'IRM fonctionnelle dans ce contexte (LOI n° 2011-814, 2011), et cette technologie est utilisée en toute légalité dans le cadre litiges avec des assurances aux Etats-Unis (Larrieu, 2012). Les tribunaux indiens ont également déjà condamné une femme sur la base de son IRM fonctionnelle alors qu'elle niait sa culpabilité (Gasser, 2010). Il est alors plausible de croire que l'utilisation de la TMS ou la tDCS comme détecteur de mensonge feront bientôt l'objet de mêmes débats. De plus, une utilisation quotidienne par la population générale en vue de se « neuroaméliorer » s'inscrit dans une

certaine tendance, aujourd'hui nettement visible, du recours des personnes non-malades à la pharmacologie (CCNE, 2014 ; Farah *et al.*, 2014). On peut supposer que le phénomène pourrait s'observer également avec les techniques de stimulation transcrâniennes si celles-ci venaient à être plus accessibles.

Outre reconnaître l'aspect spéculatif de ces affirmations, une analyse réaliste et pertinente des risques est nécessaire pour justifier un encadrement. Le principe de précaution supposant une action, celui-ci implique une notion de responsabilité, ici attribué au chercheur par une ignorance coupable (Kuhlau *et al.*, 2008), mais aussi une démocratisation appropriée de celle-ci, afin d'identifier et pondérer lesquelles incombent aux chercheurs, décideurs ou professionnels des mésusages potentiels concernés. Ici le concept de double-usage semble d'autant plus intéressant qu'il implique par nature un principe de précaution dans la mise en place de régulation (permettant de prendre en compte l'aspect prospectif des enjeux), mais aussi car il implique une responsabilité partagée d'un grand nombre d'acteurs incluant le public (répondant ainsi à l'aspect désocialisé du débat). Ainsi, une analyse en fonction du risque de l'utilisation méliorative de technologies transcrâniennes par le biais de ce concept apparaît comme nécessaire et adaptée, faisant l'objet du deuxième chapitre de ce mémoire.

Conclusion

Si le développement d'utilisations militaires de neurotechnologies peut être considéré comme un usage potentiellement néfaste de la recherche en neurosciences au vu des risques et enjeux éthiques qui en découlent, il ne peut être vu seulement comme un mésusage, ni comme le seul exemple de mésusage de la recherche en neurosciences. Les risques éthiques associés aux autres applications potentielles de ce domaine, bien que de différentes natures et magnitudes, révèlent d'autres recherches au potentiel double-usage qui font face à des enjeux similaires. Reconnaître cette situation présuppose d'accepter d'ouvrir le concept à toute une panoplie d'applications et d'adopter une définition ouverte et une vision large de ce concept, celle qui définit les recherches à double-usage comme toutes recherches aux usages à la fois potentiellement bénéfiques et néfastes (Selgelid, 2013). En revanche, l'utilisation du concept ne peut se limiter à la création d'une simple dichotomie entre de « bons » et de « mauvais » usages de recherche ou de technologies de neurosciences ; mais doit plutôt permettre d'aider à mieux identifier la diversité des applications potentiellement problématiques ou bénéfiques

afin de faciliter la réflexion neuroéthique sur les implications éthiques de la recherche en neurosciences, tout comme sur les responsabilités associées d'un large panel d'acteurs impliqués.

Aujourd'hui, les dispositifs de stimulations transcrâniennes ne sont plus seulement des outils diagnostiques, thérapeutiques ou d'investigations, mais également des outils neuroamélioratifs potentiels. Si les applications des recherches en neurosciences avec des perspectives de neuroamélioration présentent des risques inhérents à leur utilisation chez le sujet non-malade, elles ont également une portée bénéfique, ce pourquoi il est pertinent de reconnaître les usages neuroamélioratifs comme un mésusage de la recherche en neurosciences. Il est donc particulièrement adéquat d'utiliser ce concept pour réfléchir aux enjeux des usages neuroamélioratifs des technologies de stimulation transcrânienne, de part la dualité des applications qui les concernent, mais également au vu de la prospectivité qui s'y rattache. Ce concept demeure utile bien que les risques associés aux usages neuroamélioratifs ne sont pas forcément de la même envergure ou gravité que ceux généralement abordés dans la littérature sur le double-usage, à savoir ceux qui accompagne le développement potentiel d'armes de destruction massive, en vue notamment de bioterrorisme.

Le concept de double-usage doit être utilisé avec comme objectif la mise en place de différents mécanismes de gouvernances (ex. : critique scientifique, régulation gouvernementale, surveillance publique) pouvant anticiper autant que possible les applications potentielles, afin de garantir une proactivité plutôt qu'une simple réactivité (Williams-Jones, Olivier et Smith, 2013). Cependant, cette proactivité requière de s'arrêter sur les enjeux imminents et probables, et de tempérer les spéculations opérées face à la neuroamélioration, afin de garantir une certaine crédibilité, mais également de prioriser les risques et enjeux à encadrer. Opérer une pondération adéquate des bénéfices et des risques sur les technologies de stimulation transcrâniennes nécessite une analyse approfondie, car les connaissances scientifiques actuelles se confrontent à beaucoup d'incertitude. De plus, cette analyse doit cibler les technologies au cas par cas, les risques étant hautement dépendant du type de dispositif, des effets qu'il engendre et de la modification comportementale qu'il permet. De même, chacune des recherches qui les concernent n'ont pas le même risque de mésusage, ce pourquoi une évaluation du double-usage de la recherche en fonction du risque est pertinente,

dans une perspective contextualisée et qui tient compte d'enjeux de différents niveaux et de différentes natures.

Chapitre 2 : Opérationnalisation du concept de « double-usage » : application à la mise sur le marché de neurostimulateurs

Ce chapitre propose d'évaluer le double-usage de la recherche en neurosciences selon une approche d'analyse en fonction du risque proposée par Williams-Jones, Olivier et Smith (2013), qui se veut aligner les mécanismes de gouvernance avec le type de recherche ou de technologie au potentiel double-usage proportionnellement au niveau de risque associé. Selon cette approche, plus le niveau de risque est élevé, plus le besoin de régulation ou surveillance formelle est important (Williams-Jones, Olivier et Smith, 2013). Afin d'illustrer cette analyse, l'usage de la *transcranial direct current stimulation* (tDCS) à des fins neuroamélioratives en dehors des contextes cliniques ou investigatoires est utilisé. Dispositifs simples d'utilisation, peu coûteux, à la popularité croissante et déjà sur le marché, cet usage semble être un des plus imminent.

En effet, la tDCS a fait l'objet d'un nombre d'études croissant dans les dix dernières années, comme le montre la remarquable augmentation de publications académiques relatives à ce dispositif (Dubljević, Saigle et Racine, 2014 ; Clark et Parasuraman, 2014 ; Cabrera, Evans et Hamilton, 2013). Notamment, l'étude réalisée par Dubljević, Saigle et Racine (2014) a relevé plus de 250 publications sur la tDCS en 2013, contre moins de 50 en 2006 (Dubljević, Saigle et Racine, 2014). Cet intérêt grandissant pour la tDCS semble aujourd'hui dépasser le cadre du laboratoire de recherche, ce dispositif étant aujourd'hui disponible à la vente en ligne pour une utilisation personnelle et privée. Bien que la prévalence de cet usage est méconnue, les problématiques qui s'y rattachent étant alors relativement prospectives, l'utilisation « maison » est le scénario le plus crédible et donc le plus inquiétant des possibles usages amélioratifs de la tDCS (Hildt, 2014). L'analyse de cette étude de cas permet, d'une part, de démontrer l'application du concept de double-usage à différents domaines en proposant une des façons possibles de l'opérationnaliser, et, d'autre part, introduit une approche particulièrement utile pour réfléchir aux enjeux et régulations de ce probable nouveau type de comportement.

Stimulations électriques « maison » : la vente en ligne et la fabrication de neurostimulateurs comme un mésusage de la recherche

La tDCS comme grande gagnante des préoccupations imminentes

Si les technologies de stimulation mentionnées dans le chapitre précédant ne sont pas complètement à laisser tomber dans le cadre des préoccupations éthiques qui nous intéressent, la tDCS est l'exemple le plus pertinent de technologies de stimulation transcrânienne non-invasives dont il faut se préoccuper rapidement. Il est souvent mentionné qu'elle est l'une des technologies de stimulation la moins prospective pour un usage neuroamélioratif car elle est peu coûteuse, facile d'utilisation, déjà sur le marché et avec peu d'effets secondaires reportés (Hildt, 2014 ; Cabrera, Evans et Hamilton, 2013; Dubljević, 2014). Les recherches sur les individus sains ont démontré une amélioration de différentes performances cognitives telles que l'attention (sélective ou soutenue), la mémoire (notamment la mémoire de travail), la planification, ou encore l'apprentissage (Clark et Parasuraman, 2014 ; Cabrera, Evans et Hamilton, 2013 ; Levasseur-Moreau, Brunelin et Fecteau, 2013). De même, la stimulation du système nerveux pas le biais de tDCS pourraient conduire à une amélioration des performances motrices comme la force, l'endurance, la vitesse d'exécution ou la précision (Levasseur-Moreau, Brunelin et Fecteau, 2013), ainsi que des améliorations de l'humeur et de la cognition sociale (Cabrera, Evans et Hamilton, 2013).

Suite à ces observations prometteuses, des sites web ont ainsi été créés, mettant en vente le dispositif afin que tout un chacun puisse améliorer ses performances au quotidien. *Foc.us*, avec la prétention d'être le premier fournisseur planétaire en neurostimulateurs, propose à ses clients de s'auto-stimuler (« *hypercharge yourself* ») à l'aide de différents dispositifs de stimulations électriques (tDCS et autres dérivés) disponibles à partir de 199\$ (foc.us, juin 2015). *Foc.us* offre ainsi « the best tDCS headset available », afin d'augmenter les performances cognitives ou l'endurance physique des utilisateurs, leur dispositifs permettant d'obtenir un cerveau « plus rapide », grâce à des technologies « *used by researchers, scientists and hackers alike* » (Foc.us, 2015). Autre exemple, *thync.com*, qui vend des dispositifs du même genre, est également généreux sur les promesses explicitées à ces utilisateurs. Il est ainsi proposé de passer d'un état cognitif à l'autre à l'aide d'impulsions électriques, à la demande et en quelques minutes, afin d'augmenter l'attention en choisissant

un état cérébral « énergique », ou de faciliter la détente en choisissant un état cérébral « relaxé ». Les promesses s'étendent au delà du simple changement d'état cérébral ; les stimulations fournies offrant, et ce de façon prétendument sécuritaire « *new possibilities to feel your best and do more* », ou encore « *conquer the challenges and opportunities of daily life* » (Thync.com, décembre 2014). Les promesses de la compagnie Thync se résume ainsi en un slogan : « *Shift your state of mind. Conquer life* » (Thync.com, décembre 2014).

Lesdits sites *web* ne fournissent pas seulement des tDCS au courant continu, mais différents modes de stimulateurs électriques (ou différents modes de *transcranial electrical stimulation* (tES) comme des *transcranial pulsed current stimulation* (tPCS) ou des *transcranial alternating current stimulation* (tACS) (Foc.us, 2015). Concernant le site Thync.com, le dispositif vendu semble être une tDCS, bien que la littérature scientifique fournie sur le site parle tant de stimulations électriques que dispositifs de stimulations à ultrasons (*transcranial focused ultrasound* ou tFUS). Si les stimulations à ultrasons sont testées sur les animaux depuis des décennies, elles ne sont testées sur l'humain comme potentiel traitement de troubles neurologiques que depuis très récemment (Legon *et al.*, 2014 ; Tyler *et al.*, 2010). De nouvelles études ont cependant démontrées le potentiel thérapeutique de ces ondes, notamment pour le traitement de la douleur chronique en provoquant une ablation thermique (Tyler *et al.*, 2010). Il est également possible aujourd'hui de moduler localement l'activité cérébrale du cortex somatosensoriel primaire, et d'autre régions corticales (Legon *et al.*, 2014). La caractéristique particulièrement attractive de cette technologie est sa plus grande résolution spatiale que ces homologues, mais les mécanismes à la base de son fonctionnement sont extrêmement peu connus, ce pourquoi il est nécessaire de réaliser plus d'études pour valider une utilisation sûre et efficace (Legon *et al.*, 2014).

Parmi les 6 articles de littérature scientifique fournis sur le site de la compagnie Thync (Thync.com, 2015), aucun ne parle d'effets améliorateurs de ces ondes sur des sujets humains sains. Il semble alors difficile de promettre honnêtement des effets neuroamélioratifs, d'autant qu'on ne sait précisément desquels il s'agit. La compagnie a cependant déclaré à la presse préférer laisser tomber la vente de dispositifs à ultrasons pour vendre des dispositifs de stimulations électriques, les dispositifs à ultrasons étant trop encombrants pour l'usage qu'ils souhaitaient préconiser, à savoir, pouvoir se stimuler « régulièrement et partout » (Yang, 2015). On peut alors se demander si cette vente de stimulateurs à ultrasons ratée n'était pas

motivée initialement par des intérêts commerciaux, à savoir, une nécessité de vendre un produit différent de foc.us.

Ces sites web ne sont pas les seuls à fournir des moyens de se stimuler soi-même. Il existe désormais des tutoriels YouTube (WindowsSoftwareDe, 2013 ; anthonynee 2012 (a) et (b)) expliquant aux utilisateurs potentiels comment réaliser leur propre tDCS, ainsi que des forums ou des amateurs passionnés partagent leur savoir-faire bricoleur pour permettre à qui veut bien de réaliser son montage électrique « *home made* », avec du matériel facilement disponible, pour un prix encore plus dérisoire que les dispositifs plus luxueux « tout fait ». Ces dispositifs « maison » sont d'autant plus préoccupants qu'il semble difficile de garantir la sécurité liée à leur emploi, notamment, regardant l'intensité fournie ou qualité du montage réalisé.

Bien que déjà en vente ou fabriquée de façon artisanale, des préoccupations relatives à l'efficacité réelle de la tDCS dans cette optique sont régulièrement mentionnées. Plusieurs auteurs pointent du doigt que l'amélioration individuelle promise par ces fournisseurs en ligne n'est pas atteignable à l'heure actuelle (Hildt, 2014 ; Pustorvh, 2014). Les chercheurs en neurosciences eux-mêmes mentionnent qu'il est nécessaire de réaliser plus d'études randomisées et standardisées pour assurer une validité écologique transférable à la vie de tous les jours des aspects mélioratifs sur personnes non-malades (Clark et Parasuraman, 2014 ; Horvath, Carter et Forte, 2014). En effet, si la tDCS semble relativement prometteuse et efficace dans les contextes cliniques ou de recherche, rien ne montre que c'est le cas lorsqu'elle sort de ces cadres. Si des études démontrent une amélioration de processus attentionnels lors de tâches précises sur ordinateur avec un contrôle maximum des paramètres externes, il semble difficile de dire que cette même amélioration pourra être observée dans un contexte réel.

La validité écologique (ou contextuelle) des études sur les individus sains est encore faible, notamment car les améliorations sont observées dans des contextes artificiels de laboratoire. Si l'on parle d'amélioration prometteuse de la mémoire ou de l'attention, il s'agit de millisecondes de temps de réaction en moins sur tâche à l'ordinateur ou d'items supplémentaires retenus dans une liste de mots à mémoriser. Nous sommes ainsi loin de la possibilité d'améliorer les performances au travail ou à l'école (De Ridder, Vanneste et Focquaert, 2014; Dresler *et al.*, 2013). Ainsi, la tDCS ne permet pas à l'heure actuelle

d'obtenir les résultats escomptés et promis par les commerciaux qui la vendent, bien que les expériences décrites par ceux qui la testent ne vont pas dans ce sens : « *The difference, I must admit, is palpable: Everything seems more finely etched, crisper. I notice more details in the world around me, and the sense of dullness that three days spent listening to press pitches from moribund industry giants has draped over my brain seems to have been peeled away* » (Yang, 2015).

Cette absence d'efficacité ne justifie pourtant pas l'usage du terme « débat fantôme » parfois attribué aux enjeux neuroamélioratifs, comme dans la critique de Quednow (2010) qui décrit les prémisses pharmacologiques et épidémiologiques pour l'analyse des enjeux éthiques et sociaux de l'usage des psychostimulants irréalistes. Bien qu'il s'agissent ici de substances pharmacologiques, on pourrait, au vu des promesses impossibles qui concernent l'usage amélioratif de la tDCS, qualifier également le débat qui anime les académiques sur son utilisation d'imaginaire. Cependant, malgré sa potentielle non-efficacité, ce dispositif est déjà accessible en ligne pour qui veut bien tenter d'améliorer ses performances cognitives, bien qu'on ignore actuellement la réelle prévalence des usages privés (Fitz et Reiner, 2013). Il est toutefois plausible d'imaginer que cette utilisation tende à se développer, vu le nombre croissant d'inscrits sur les forums d'utilisateurs (Fitz et Reiner, 2013), tout comme l'engouement qui touche les médias exagérant les bénéfices de son usage (Pustovrh, 2014 ; Dubljević, Saigle et Racine, 2014).

Cet engouement touche également les chercheurs, réalisant de plus en plus d'études qui tentent d'investiguer les effets amélioratifs de la tDCS sur des individus sains lors de tâches complexes (McKendrick, Parasuraman et Ayaz, 2015 ; Dubljević, Saigle et Racine, 2014 ; Clark et Parasuraman, 2014), comme par exemple des études qui montrent des performances accrues lors de tâche d'apprentissage moteur ou d'attention soutenue (Clark et Parasuraman, 2014) ou une étude qui a démontré une conduite automobile plus prudente avec l'usage de ce dispositif (Beeli *et al.*, 2008 dans Dresler *et al.*, 2013). Ces résultats, à la plus grande validité écologique, rendent les améliorations permises potentiellement transférables dans les tâches de la vie réelle, notamment pour une utilisation dans le milieu du travail envisageable, d'autant plus efficace lorsque couplé à des technologies d'imagerie pour monitorer la stimulation, comme les *functional Near-Infrared Spectroscopy* (fNIRS) portatives (McKendrick, Parasuraman et Ayaz, 2015).

On ignore cependant les mécanismes exacts à la base des modulations induites par la tDCS, bien que l'on ait quelques pistes (McKendrick, Parasuraman et Ayaz, 2015; Hildt, 2014 ; Pustorvh, 2014) La tDCS vient favoriser l'influx nerveux en augmentant la concentration synaptique de certains neurotransmetteurs ou en agissant sur le potentiel membranaire (McKendrick, Parasuraman et Ayaz, 2015). L'électrode anodale, en attirant les charges positives favorise la dépolarisation et ainsi la création de potentiel d'action (Coffman, Clark et Parasuraman, 2014). Une électrode cathodale viendra elle favoriser l'hyperpolarisation membranaire et ainsi favoriser une inhibition (Coffman, Clark et Parasuraman, 2014). La propagation de l'influx nerveux est également favorisée par la provocation d'une augmentation du glutamate de la zone stimulée, et de facteurs de croissance dans les synapses (Coffman, Clark et Parasuraman, 2014).

La mise en vente de ces dispositifs est ainsi précoce et potentiellement risquée. Face à cette utilisation secondaire des connaissances et technologies de la recherche en neurosciences, une façon d'alimenter la réflexion sur l'encadrement de ces usages neuroamélioratifs est d'analyser la vente en ligne de la tDCS et son utilisation privée à la lueur du concept de double-usage de la recherche, comme un « mésusage » de la recherche en neurosciences.

Une technologie de recherches à double-usage

Si toutes les recherches sont potentiellement à double-usage, on invoque le concept quand la balance penche plus du côté des risques que des bénéfices pour beaucoup d'experts (Revill et Dando, 2008). Le dilemme apparaît ainsi lorsque les résultats de recherches permettent d'aboutir à des connaissances ou technologies qui peuvent à la fois être utilisées à des fins légitimes et bénéfiques et d'autres potentiellement néfastes, sans que les scientifiques n'en ai eu l'intention. Un scientifique responsable étant supposé avoir pour but de créer des connaissances plus bénéfiques que dangereuses pour la société (Selgelid, 2009 (a) et (b)), l'utilisation secondaire de résultats de recherche à des fins illégitimes pose problème. Le concept pose ainsi, entre autres, la question de l'obligation de la communauté scientifique face au double-usage de ses travaux, qui soulève une tension entre, d'une part, le désir de contrôler ce double usage et, d'autre part, le respect du principe de la liberté scientifique (Kuhlau *et al.*, 2008). Le dilemme apparaît ainsi lorsque scientifiques et experts en sécurité se doivent de

promouvoir à la fois le progrès scientifique tout en protégeant la sécurité et la santé publique (Miller et Selgelid, 2007 ; Selgelid, 2009, (b), Selgelid, 2013). Il s'agit ici, dans la mesure du possible, de venir encadrer la recherche sans l'entraver ni la ralentir, afin de protéger la liberté académique et la liberté d'expression qui sont des droits fondamentaux et l'avancée de la science et du progrès au vu des perspectives bénéfiques qui découlent de ces recherches, tout en empêchant les risques issus des mésusages potentiels de ces découvertes (Miller et Selgelid, 2007).

Opérationnaliser le concept de double-usage ici suppose de considérer l'utilisation neuroaméliorative maison de la tDCS comme un mésusage de la recherche en neurosciences. Le problème est alors de prévenir le mésusage sans entraver ni ralentir l'avancée technologique. Si garantir la liberté académique et l'avancée des connaissances est essentiel car elles constituent des droits fondamentaux (Selgelid, 2013), c'est également souhaitable au vu des potentielles perspectives bénéfiques des recherches, comme le potentiel thérapeutique prometteur de la tDCS. Ce dispositif pourrait en effet à l'avenir être recommandé dans le traitement des troubles cognitifs légers, de la dépression, de la maladie d'Alzheimer ou encore de la récupération après un accident vasculaire cérébral (Clark et Parasuraman, 2014). De plus, les bénéfices d'une utilisation purement améliorative, bien que discutables et discutés, doivent également être mentionnés. Si des recherches ont montré une amélioration de la mémoire, de l'apprentissage de l'attention ou encore de l'humeur chez les individus sains, il se pourrait qu'un jour cette technologie permette de faire face au défis quotidiens tels que les entretiens d'embauche, les examens ou encore aider dans la gestion du stress. Si cette amélioration venait à être possible, la technologie qui la permet se doit d'être accessible, au vu des bénéfices potentiels pour les individus comme pour la société. Cependant, l'utilisation de cette technologie n'est pas sans connaître une certaine dualité. En effet, de ces usages découlent également des risques plus ou moins imminents et de différentes natures, bien que leur niveau diffère en intensité de ceux relatifs au bioterrorisme ou aux applications militaires.

Un des aspects intéressants de l'application du concept de double-usage à la tDCS est la proactivité rattachée à son opérationnalisation. Plutôt que de réagir aux risques et enjeux éthiques d'applications qui apparaissent, une évaluation selon ce concept pourrait permettre de mettre en place des mécanismes de régulation en amont des usages. À l'heure où la recherche appliquée est particulièrement valorisée, une évaluation éthique plus systématique des

perspectives et usages de la recherche avant qu'ils n'apparaissent semble nécessaire. Pour le cas qui nous concerne, la prospectivité concerne tant le développement et la prévalence de cet usage (on ignore à quel point l'utilisation privée de la tDCS est répandue et si elle va le devenir) que les risques qui s'y rattachent, qui sont prospectifs ou incertains.

D'autre part, il s'agit de limiter les risques éthiques qui découlent de l'utilisation secondaire de ces recherches, voire de stopper le mésusage potentiel. Ici, il est question de limiter ou d'encadrer l'utilisation neuroaméliorative de technologies biomédicales en dehors du contexte clinique ou investigatoire. Comme identifié par Duecker, de Graaf et Sack (2014), il est une distinction à faire dans les applications probable de technologies d'amélioration. Celles-ci peuvent être utilisées comme outils d'investigation, comme outil thérapeutique ou comme outils d'amélioration en dehors des deux cadres précédents (Duecker, de Graaf et Sack 2014). Si, lors de l'utilisation de la tDCS en clinique comme en recherche, des risques et enjeux sont à prendre en compte, il ne s'agit pas d'un usage détournée des objectifs premiers de la recherche. S'il existe plutôt une différence en fonction du domaine d'application, c'est de part le fait que les perspectives ne sont pas les mêmes :

Beyond neuroscience, however, the application of NIBS for neuro-enhancement is not necessarily motivated by its scientific value. Instead, enhancing perception, cognition, and behavior could, for some, be considered a goal in itself irrespective of the underlying mechanisms that produce such effects. That would be neuro-enhancement as an end goal, rather than as a means to an end (Duecker, de Graaf et Sack 2014).

L'utilisation de ce dispositif en dehors du cadre clinique ou investigatoire peut ainsi être considéré comme un mésusage de la recherche car il répond aux caractéristiques prérogatives à l'apparition de son dilemme. Notamment, l'usage n'est pas dans les objectifs premiers des recherches sur la tDCS, il existe des risques inhérents qui accompagnent son développement, et tant ce développement que ces risques sont relativement prospectifs. Le tout opère dans le cas d'une non-intentionnalité des scientifiques qui conduisent ces recherches dans l'apparition du double-usage, bien qu'une certaine responsabilité puisse leur être accordé. De prime abord, la dualité de l'utilisation de la tDCS semble apparaître car il existe une utilisation non-encadrée reconnu comme problématique (Duecker, de Graaf et Sack 2014 ; Pustorvh, 2014 ; Hildt, 2014) et une utilisation actuelle en recherche ou future comme traitement qui semble l'être beaucoup moins. L'utilisation en recherche ou une éventuelle

utilisation thérapeutiques, bien qu'encadrées ne sont pas à l'abris des effets secondaires inattendus. De mêmes, les bénéfices apportés par un usage quotidien sont discutables. Il est ainsi nécessaire de s'attarder sur la définition d'un mésusage de la recherche et des implications qui en découlent, car aucunes de ces utilisations technologiques ne présentent pas à la fois des risques et bénéfices potentiels.

Définir un mésusage

Considérer les perspectives neuroamélioratives comme des mésusages de la recherche en neurosciences signifie ouvrir le concept de double-usage à d'autres recherches que celles plus traditionnelles des sciences de la vie ou physique nucléaire et à d'autres applications que celles qui ont trait aux perspectives de sécurité nationales ou au bioterrorisme. Les définitions plus restreintes explicitent le type de recherche ou d'applications qu'il s'agit de prendre en compte dans les préoccupations de double-usage, comme celles qui confine le double-usage aux recherches avec à la fois des potentielles applications bénéfiques et néfastes, quand ces dernières se traduisent par la possible création d'armes biologiques (Selgelid, 2009 (a)). Cependant, comme mentionné dans le premier chapitre, ces définitions exposent au risque de manquer tout un pan de recherches aux potentiels mésusages qui pourraient faire face au même dilemme (Miller et Selgelid, 2007 ; Resnik, 2009 ; Williams-Jones, Olivier et Smith, 2013), et n'est que peu utile pour le cas qui nous intéresse. Or, cette ouverture confère *de facto* au concept une certaine trivialité qui rend difficile sa mise en pratique. Si les recherches à double-usage sont celles aux usages bons et mauvais, alors presque toutes les recherches sont concernées par cette définition (Selgelid, 2009 (a)). Cet enjeu est reconnu dans la littérature sur le double-usage : « *If the definition of 'dual use' is too wide in scope, however, it may be needlessly applied to relatively benign areas of science that only have a remote chance of being used by terrorists or others to cause harm* » (Resnik, 2009, p. 4). Le risque ici serait alors d'augmenter des barrières administratives qui risqueraient de nuire au progrès et à l'innovation (Resnik, 2009). Ainsi, pour pallier cette trivialité et justifier l'ouverture du concept, il est nécessaire de s'intéresser à ce qui définit un « mésusage », selon quelles valeurs, et en fonction de quelle perspective on considère qu'une utilisation est « mauvaise » (Williams-Jones, Olivier et Smith, 2013), afin de garantir une utilisation et opérationnalisation pertinente.

Si une définition plus large peut permettre d'éviter un champ d'application trop restreint, il doit être reconnu que l'opérationnalisation d'un concept manichéen peut être une chose risquée et délicate. En effet, la pertinence de l'invocation du concept répond de ce que l'on considère comme un mésusage. Or, ce qui diffère entre un « bon » et un « mauvais » usage ne tient pas tant des qualités intrinsèques de ce dernier que d'autres facteurs, qui sont plus politiques que fondamentalement moraux. Ainsi, il ne s'agit pas tant de venir condamner des utilisations et d'en vanter d'autres, mais plutôt d'attirer l'attention sur des usages problématiques qui doivent être encadrés. Un point de départ semble être le fait que les valeurs attribuables au « mésusage » sont en désaccord avec les valeurs de la science (Kuhlau *et al*, 2011 ; Selgelid, 2013). Ces valeurs étant mouvantes et extrêmement dépendante des contextes et points de vue, l'approche qui justifie l'opérationnalisation du concept se doit d'être contextuelle. Ici, la neuroamélioration n'est pas tant une pratique à juger qu'un usage problématique au vu des risques potentiels qui l'accompagne et qu'il s'agit d'encadrer. Si le débat sur la moralité de ce genre de pratique est utile en certains points, le concept ne vient pas répondre à ces enjeux là.

Un premier facteur qui semble attribuable au « mésusage » de la recherche concerne l'intentionnalité du chercheur: une telle application n'est pas dans les objectifs initiaux de recherche (Selgelid, 2013 ; Miller et Selgelid, 2007). Les recherches qui amènent aux mésusages potentiels ont, à la base et le plus souvent, des objectifs thérapeutiques ou empiriques. C'est l'utilisation secondaire de ces données ou technologies, à des fins autres que celles initialement envisagées, qui pose problème. Le chercheur n'est donc pas activement engagé dans le développement du mésusage ni directement responsable de ce dernier. C'est ce qu'on observe dans le double-usage usuel, lorsque par exemple on craint un usage bioterroriste d'agent pathogènes issue d'études en virologie (Aken, 2006). Les scientifiques n'ont pas développé ces agents dans le but de développer des armes biologiques, mais afin d'arriver à une meilleure compréhension des agents en question pour éventuellement aider à prévenir les futures pandémies.

L'utilisation de la tDCS à des fins amélioratives est également une application, plus ou moins directe, de la recherche en neurosciences. Un usage neuroamélioratif maison des stimulations électriques n'est pas dans les objectifs premiers des recherches qui les présupposent, ou du moins pas explicitement, ce qui permet de considérer ces applications

comme des utilisations secondaires indirectes de la recherche. Ces usages découlent tant des recherches qui investiguent l'impact de ces technologies sur les individus sains que les autres, peut-être moins directement, qui envisagent des applications thérapeutiques. Dans les deux cas, ces recherches sont à la source du développement de la neuroamélioration et de la technologie, et à la base de l'idée d'impliquer les technologies de stimulations transcrâniennes dans la modification des états cognitifs ou moteurs pour une amélioration des performances. En effet, « *if the science doesn't first develop the tool, there is no tool to be applied outside the scientific setting* » (Duecker, de Graaf et Sack 2014).

Sans les observations de probable efficacité sur les capacités cognitives des individus non-malades, comment prétendre que la neuroamélioration pourrait fonctionner ? Or, la place des études aux perspectives thérapeutiques ou de neuroamélioration dans la littérature scientifique est non-négligeable, comme démontré dans la revue de littérature réalisée par Dubljević, Saigle et Racine (2014) : les objectifs thérapeutiques des articles académiques relatifs à la tDCS sont au premier rang (45%), et ceux aux objectifs d'amélioration cognitive représentaient 13 % de l'échantillon (Dubljević, Saigle et Racine, 2014). De plus, en référant les utilisateurs à des articles de la littérature scientifique, les créateurs des sites de vente de la tDCS se réclament eux-mêmes de proposer des services qui découlent de la recherche.

Cette non-intentionnalité de la part des chercheurs n'est que rarement à remettre en cause, si l'on prend par exemple les études en neuroergonomie qui visent précisément à développer des outils pour améliorer les performances des personnes saines au travail (Luber et Lisanby, 2014), dont le but est ici clairement amélioratif. On peut cependant douter ici de leur volonté et engagement dans le développement précoce de la vente en ligne de neurostimulateurs. Si les sites web qui vendent la tDCS réfèrent à des études scientifiques pour se donner une certaine crédibilité, ces recherches n'avaient pas pour objectifs d'assurer l'efficacité et la sécurité de ce dispositif dans l'optique d'un usage privé. L'équipe exécutive desdits sites comprend cependant des scientifiques, chercheurs ou professeurs en neurosciences (Thync.com, 2015). Cette intentionnalité relevant moins des objectifs de ces chercheurs comme chercheurs qu'en tant qu'individus, la non-intentionnalité dans le mésusage de la recherche pourrait être qualifiée de non-intentionnalité explicite de la recherche. Cependant, en vendant des technologies insuffisamment testées et potentiellement dangereuses au public en probable connaissance de cause, une responsabilité partielle leur est attribuable,

comme c'est le cas dans le double-usage usuel de la recherche, par une forme de complicité (Ehni, 2008).

L'usage détourné répond alors, dans la plupart des cas qui nous concerne, de la responsabilité de quelqu'un d'autre. Le mésusage de la recherche découle du fait que les connaissances scientifiques partagées peuvent être utilisées par des acteurs « malveillants » pour des fins qui vont à l'encontre des intérêts de sécurité nationale et de la santé publique, portant atteinte aux droits des individus (Selgelid, 2009 (a) et (b) ; Selgelid, 2013 ; Miller et Selgelid, 2007 ; Revil et Dando, 2008). Si ces acteurs qui détournent potentiellement la production scientifique de ses objectifs premiers sont généralement considérés comme des terroristes ou des états dévoyés, comme dans le double-usage traditionnel (Revil et Dando, 2008 ; Selgelid, 2013), il est nécessaire de reconnaître qu'il peut aussi s'agir d'autres acteurs, comme pour le cas qui nous intéresse ici.

Si l'on considère le « mésusage » comme étant l'utilisation neuroaméliorative de dispositifs disponible en ligne, on peut questionner qui est l'acteur qui détourne la technologie de recherche à des fins préjudiciables : le fournisseur ou l'utilisateur ? Et, dans les deux cas, la malveillance est à tempérer. Les connaissances actuelles ne permettent pas de définir cet usage comme clairement préjudiciable, et leur intentionnalité de nuire n'est pas aussi vérifiable que dans les cas plus usuels de mésusages. Ces fins préjudiciables ne portent pas tant atteinte à la sécurité nationale qu'à la santé publique (dans une moindre mesure que pour le cas d'armes de destruction massive), et aux droits des consommateurs éventuels. Comme la notion de mésusage faisant référence à un dommage potentiel à la société (Kuhlau *et al.*, 2011), il est justifié de considérer l'utilisation de la tDCS par les individus sains comme des mésusages, au vu des risques et enjeux éthiques probables qui découlent de leur développement. Les risques ne sont cependant pas de la même envergure que ceux des mésusages traditionnels, comme ceux qui accompagnent le développement d'armes biologiques.

Si la notion de double-usage semble intéressante ici, c'est aussi également au vu de la dualité des applications de recherche. Un mésusage implique qu'il y en a, un autre, qui est « bon », pour observer le dilemme de double-usage de la recherche. Il sera cependant toujours facile de justifier qu'une recherche possède une portée bénéfique, ne serait-ce que pour l'avancée des connaissances qu'elle permet, et au nom de la liberté académique. C'est pourquoi c'est au niveau de risque associé au mauvais usage qu'il faut plutôt se référer. Tout

comme les recherche à double-usage qui concerne les découvertes en virologie (Selgelid, 2009 (a) et (b) ; Selgelid, 2013 ; Aken, 2006), les recherches en neurosciences qui utilisent la tDCS ne peuvent simplement être ignorées ou censurées de part leurs intéressantes perspectives thérapeutiques et l'avancée de la science qu'elles permettent. En effet, on peut considérer les technologies de stimulations transcrâniennes comme de prometteuses alternatives aux molécules chimiques, et de potentiels outils diagnostiques, thérapeutiques, et même quotidiens efficaces et utiles.

La tDCS, en induisant une modulation persistante de l'excitabilité corticale et des fonctions cognitives et motrices avec une douleur et une invasivité minimales présente un avantage clair sur les différentes autres techniques disponibles à l'heure actuelle (Cabrera, Evans et Hamilton, 2013 ; Clark et Parasuraman, 2014). Il s'agit alors de ne pas priver population de technologies qui pourrait améliorer de manière significative leur qualité de vie, notamment pour des maladies difficiles à traiter comme la dépression ou la maladie d'Alzheimer, et ce avec moins d'effets néfastes que les médicaments.

Ainsi, ouvrir le concept à d'autre niveau de risque et d'autre mésusage implique qu'un mésusage de la recherche peut être toutes applications des connaissances ou technologies de recherche détournés des objectifs de recherche initiaux, éthiquement en conflit avec les valeurs actuelles de la science, dont les scientifiques sont directement ou indirectement responsables, et dont les risques dépassent plausiblement les bénéfices au vu des connaissances actuelles. Il est donc important, d'une part, d'évaluer les bénéfices réels que la tDCS permet à l'heure actuelle et pourrait permettre dans l'avenir en terme de neuroamélioration. D'autre part, ces bénéfices doivent être confrontés aux risques qui accompagnent le mésusage, ce dernier existant lorsque la balance penche plutôt du côté des risques, d'où la pertinence d'une approche qui analyse ces derniers.

Le concept de double-usage : un outil diagnostique en amont de l'encadrement

L'approche d'analyse en fonction du risque

Une approche en fonction du niveau de risque potentiel de l'utilisation secondaire de la recherche présuppose d'évaluer le niveau et la probabilité de risque associé au potentiel mésusage (Williams-Jones, Olivier et Smith, 2013). Différents niveaux de risque potentiel

peuvent être envisagés selon cette approche, basé sur une redéfinition de la notion de risque minimal de l'Enoncé Politique des Trois Conseil version 2 (EPTC2) : « . . . *research in which the probability and magnitude of possible harms towards society is no greater than those encountered in everyday life* » (Williams-Jones, Olivier et Smith, 2013, p. 12). Les mécanismes de gouvernance et régulations doivent être mis en place lorsque le risque associé au mésusage est supérieur au risque rencontré dans la vie courante, et proportionnelle à ce dernier, soit alignés avec sa probabilité et sa magnitude. Cette approche suppose l'existence de trois niveaux de risques potentiels associés aux recherches à double-usage : faibles ou minimaux (qui répondent à la définition donnée précédemment), moyens, et élevés ou sérieux. Un risque peut-être considéré comme moyen lorsque dommages et bénéfices liés au mésusage sont à peu près équivalents, et élevé lorsque les dommages dépassent de loin les bénéfices (Williams-Jones, Olivier et Smith, 2013).

L'approche choisie ici ne peut ainsi être considérée que comme un premier niveau d'analyse d'un processus dynamique qui implique éducation et surveillance d'un large panel d'acteurs, des unités de recherche universitaires aux institutions gouvernementales, quantifier le risque ou évaluer le potentiel néfaste d'un usage étant relativement difficile (Williams-Jones, Olivier et Smith, 2013). En effet, appliquer le concept de double-usage ne nous sert pas tant par les modèles de gouvernance qu'il suppose à l'heure actuelle mais plus comme un outils diagnostic pertinent, qui permet la mise en place proactive d'une gouvernance adaptée au contexte et au cas. En effet, les pistes de solution envisagées dans le cadre de la littérature sur le double-usage concernant principalement la non-conduite des recherches ou la restriction de la diffusion de leurs résultats (Selgelid, 2009 (a) ; Selgelid, 2013 ; Miller et Selgelid, 2007), celles-ci ne sont pas toujours appropriées aux risques associés aux mésusages aux niveaux de risques moyen ou faible, puisque elles sont liées à une réflexion sur le développement d'armes de destruction massive ou de bioterrorisme.

Bien qu'il soit tentant de simplement empêcher la publication, voir le déroulement des études dont les applications pourrait être néfaste, la censure ne semble pas la solution la plus appropriée vu qu'elle va à l'encontre de la liberté académique et de la liberté d'expression qui sont des droits fondamentaux (Selgelid, 2009; Miller et Selgelid, 2007). Cela irait également à l'encontre des avancées de la sciences et du libre partage des informations qui concernent actuellement le monde scientifique (Miller et Selgelid, 2007). L'autocensure ou la limitation

de la diffusion des résultats semble moins hégémonique, mais pourrait placer les chercheurs en conflit d'intérêts dans le sens que la publication est une des principales valorisations de la profession (Selgelid, 2009; Miller et Selgelid, 2007). Ainsi, il serait difficile pour un chercheur de ne pas publier une étude pour des raisons éthiques sachant qu'une publication supplémentaire le valoriserait. Dans le cas de la création de virus hautement pathogène, au vu des risques élevés pour la population, de telles mesures pourraient paraître justifiées, bien qu'elles ne font pas consensus (Holtcamp, 2012). Cependant, censurer les recherches qui utilisent la tDCS afin de limiter l'usage neuroamélioratif n'est aucunement pertinent ou justifié.

Utiliser le concept de double-usage pour réfléchir à un encadrement proactif des comportements amélioratifs doit se faire en connaissance de cause du débat qui anime aujourd'hui le monde académique sur les façons d'encadrer et de réagir face à ce phénomène. Notamment, on observe deux attitudes opposées face au développement de l'amélioration humaine par le biais de nouvelles technologies biomédicales, dont l'amélioration cognitive fait partie intégrante : une approche libérale et une approche conservatrice. Ces deux approches amènent à différentes potentielles politiques d'encadrement, du « laissez-faire » à la prohibition (Racine, 2010, chp. 10). L'approche choisie ici permettrait de mettre en place différents mécanismes, plus ou moins arbitraires, qui pourraient inclure éducation et codes de conduites qui éveillent la conscience des scientifiques au double-usage (par le biais d'organismes financeurs comme par celui de sociétés savantes) (Williams-Jones, Olivier et Smith, 2013). Au vu des lacunes identifiées dans l'encadrement actuel de l'usage qui nous intéresse ici (la tDCS vendue en ligne ne fait l'objet d'aucune approbation, et il n'existe pas de lignes de conduites officielles à l'heure actuelle) (De Ridder, Vanneste et Focquaert, 2014; Fitz et Reiner, 2013 ; Maslen *et al.*, 2014, (a) et (b) ; Dubljević, 2014 ; Hildt, 2014), il est important de venir analyser les risques associés aux usages amélioratifs de la tDCS pour alimenter la réflexion sur les mécanismes de régulation à mettre en place.

La tDCS en dehors du cadre clinique et investigatoire : risques et enjeux éthiques potentiels

Augmenter ses capacités cognitives à l'aide de stimulation électrique dans le quotidien est une chose dont il est nécessaire de se préoccuper, en particulier en terme de sûreté et de sécurité. Les premières préoccupations concernant l'usage « maison » de la tDCS portent sur

les effets secondaires et effets inattendus qui accompagnent (ou pourraient accompagner) cet usage. Si les risques reportés (maux de tête, sensations de brûlure, fatigue) (Poreisz *et al.*, 2007) sont ceux qui apparaissent lors de protocoles de recherche qui respecte certains standards de sécurité, il est des risques inattendus qui pourrait survenir lors d'une utilisation en dehors de ces cadres, notamment lors d'un usage répété et sur une longue période chez des sujets en bonne santé (Hildt, 2014 ; Pustovrh, 2014). On sait notamment que différents paramètres sont importants pour garantir un usage sans encombre : la durée de la stimulation, la fréquence d'utilisation, le placement des électrodes ou encore l'intensité choisie (Fitz and Reiner, 2014 ; Horvath, Carter et Forte, 2014). Le choix de la zone à stimuler est important, et requière quelques connaissances de base en anatomie cérébrale, et ce bien que la résolution spatiale de la tDCS est relativement faible, le courant administré étant diffus. Dans les protocoles de recherches standardisés, on prête également une attention particulière aux stimulations qui durent plus d'une heure (Nitsche *et al.*, 2003).

En dehors du respect de ces normes, qui ne sont pas garanties dans une utilisation privée, des effets secondaires pourraient apparaître au vu des nombreux paramètres encore non-investigués à l'heure actuelle. Par exemple, si les risques d'hyperactivité toxique sont peu probables vu les intensités utilisées en recherche (Nitsche *et al.*, 2003), on ignore à quel point celle-ci pourrait apparaître avec des intensités plus élevées, lors de stimulation répétées (Fitz and Reiner, 2014 ; Hildt, 2014 ; Pustovrh, 2014). De plus, si les stimulations électriques transcrâniennes pourraient améliorer certaines fonctions cognitives, il se pourrait que ce soit aux dépens d'autres fonctions (Dubljević, 2014 ; Brem *et al.*, 2014; Fitz and Reiner, 2014). Notamment, l'étude de Iucualano et Cohen-Kadosh (2013), qui est une des premières à investiguer une double-dissociation de tâches avec des technologies de stimulation transcrâniennes, a permis d'observer un coût de l'amélioration cognitive lors de tâche d'apprentissage numérique. L'application de stimulations électriques transcrâniennes a ici conduit soit à une amélioration du taux d'apprentissage mais pas des processus d'automatisation, soit à l'exact opposé, selon que l'on stimule respectivement le cortex pariétal postérieur ou le cortex préfrontal dorsolatéral. Ce coût serait notamment dû à un changement de la consommation métabolique et de la modulation neurochimique issue des stimulations électriques (Iucualano et Cohen Kadosh, 2013). Le coût cognitif de la neuroamélioration par le biais de la tDCS mériterait ainsi d'être exploré plus en profondeur.

De même, il se pourrait que les stimulations viennent interagir avec d'autres médicaments existantes, ce qui a été très peu investigué jusqu'à présent, comme les effets potentiels de facteurs tels que le genre, l'âge, ou la dominance manuelle (la plupart des études ont été réalisées sur des participants droitiers) (Fitz and Reiner, 2014 ; De Ridder, Vanneste et Focquaert, 2014). Par exemple, certaines médicaments pourraient fortement augmenter les effets liés à la tDCS, et l'excitabilité neuronale est par nature extrêmement variable d'un individu à l'autre (De Ridder, Vanneste et Focquaert, 2014; Horvath, Carter et Forte, 2014). De plus, il n'existe pas d'études à l'heure actuelle sur les femmes enceintes, et peu de recherches se sont penchées sur les effets de la tDCS sur le cerveau d'enfants (Minhas *et al.*, 2014 ; Maslen *et al.*, 2014b).

On peut raisonnablement questionner les effets potentiels sur le développement cérébral, d'autant que la plasticité de jeunes individus est relativement élevée par rapport à celle d'un adulte. Notamment, il se pourrait que des intensités deux fois inférieures à celles utilisées chez l'adulte soient plus que suffisantes (Minhas *et al.*, 2014). Ces données sont d'autant plus importantes que les adolescents sont supposément une des populations à risques d'utiliser ces dispositifs, en particulier les dispositifs « maison » proposés par les tutoriels YouTube. Les modifications à court terme de la plasticité cérébrale qui sont provoquées par la tDCS pourraient également induire des changements à long terme de certaines fonctions neuronales, faisant que les effets inattendus pourraient être difficiles à renverser (Fitz and Reiner, 2014 ; Cabrera, Evans et Hamilton, 2013). Les différences individuelles naturelles en termes de plasticité et de tolérance sont également à explorer, d'autant qu'il existerait des réactions addictives aux stimulations électriques chez les animaux (Heinz *et al.*, 2012, dans Levasseur-Moreau, Brunelin et Fecteau, 2013).

Il est ainsi nécessaire de faire plus d'études pour valider que la tDCS est bien sécuritaire dans un contexte de vie réelle et non de laboratoire. Les effets secondaires à long terme n'ont pas pu être suffisamment investigués pour passer à une utilisation quotidienne, d'autant qu'aucune ligne directrice officielle n'accompagne les usages en question (De Ridder, Vanneste et Focquaert, 2014; Fitz et Reiner, 2013 ; Maslen *et al.*, 2014a,b ; Dubljević, 2014). De plus, les bénéfices réels sont également à interpréter avec précaution, vu la forte motivation de démontrer des résultats positifs en recherche et qu'il existe une tendance à ne pas publier les résultats négatifs (Cabrera, Evans et Hamilton, 2013), d'autant que très peu d'attention a

été portée sur le coût cognitif associé à l'amélioration de ces performances (Luber, 2014). Les résultats des recherches sur les individus sains, bien que a priori prometteurs, ne sont ainsi que récents, conditionnels, et connaissent aujourd'hui des limites ; bien qu'il est plausible de supposer que ces limites vont être rapidement dépassées au vu de l'engouement actuelle dont bénéficie ce dispositif.

Ainsi, au vu du peu de connaissance sur les risques comme sur les bénéfices réels liés à l'utilisation méliorative de la tDCS, certains auteurs qualifient le comportement des utilisateurs actuels « d'auto-expérimentation » (Cabrera, Evans et Hamilton, 2013). Si l'on peut penser que dans le cas de l'usage privé de la tDCS, c'est à l'individu de faire le choix délibéré de prendre un risque pour lui même, il est aujourd'hui impossible de faire un choix réellement informé (d'avoir une information fiable) sur les risques et bénéfices et caractéristiques d'une stimulation appropriée (Hildt, 2014). Les individus risqueraient de naïvement surestimer les bénéfices et sous estimer les risques. Cette intuition erronée est d'autant plus probable que la tDCS est largement considérée comme non-invasive, donnant une fausse impression d'innocuité (Hildt, 2014 ; Fitz and Reiner, 2014 ; Davis et van Koningsbruggen, 2013). Il est donc difficile de garantir une balance bénéfices-risques adéquate, ce qui pourrait porter atteinte au consentement éclairé des utilisateurs (Hamilton, Messing et Chatterjee, 2011 ; Hildt, 2014 ; Cabrera, Evans et Hamilton, 2013).

Comme il s'agit ici d'une technique neuroaméliorative, son utilisation par des individus sains s'accompagnent des mêmes enjeux éthiques que ceux qui accompagnent toutes technologies du genre. Comme mentionné précédemment (chapitre 1), on peut s'inquiéter d'une éventuelle atteinte à l'autonomie issue d'une coercition sociétale et implicite qui découle des impératifs productivistes et d'excellence de nos sociétés occidentales contemporaines (CCNE, 2014 ; Cabrera, Evans et Hamilton, 2013 ; Farah *et al.*, 2004). À savoir, si l'utilisation de la tDCS venait à se généraliser, ce qui est encouragé par les démarches de vente en ligne ainsi que l'engouement actuel mentionné (Pustorvh, 2014 ; Clark et Parasuraman, 2014), on pourrait questionner le choix libre d'avoir recours à l'électricité pour améliorer ses performances cognitives. Cette coercition pourrait devenir plus explicite dans le cadre d'une utilisation requise par les parents sur leurs enfants, du corps militaire sur ses soldats, ou des patrons sur leurs employés (Hamilton, Messing et Chatterjee, 2011 ; Farah *et al.*, 2004 ; CCNE, 2014 ; Cabrera, Evans et Hamilton, 2013 ; Maslen *et al.*, 2014b). Et il

semble que les fournisseurs de tDCS aillent dans ce sens, présentant leur mission comme une sorte de démocratisation d'un dispositif qui pourrait servir à tous : « *And that, in summation, is Thync: The first product to deliver TDCS to the masses, at a price they promise will be "affordable" and in a form-factor designed to be retail consumer friendly* » (Yang, 2015).

Une généralisation de ces usages pourrait représenter une atteinte à la justice sociale et distributive, avec la crainte de l'apparition d'une classe « neuroaméliorée » (CCNE, 2014 ; Hamilton, Messing et Chatterjee, 2011), creusant ainsi l'écart entre les individus fortunés et ceux qui le sont moins. En effet, on s'inquiète que ces stimulations pour un usage personnel chez des individus sains ne soient pas prise en charge par les assurances médicale, tout comme pour les psychostimulants (Hamilton, Messing et Chatterjee, 2011), réduisant les utilisateurs aux personnes capables de payer de leur poche de telles amélioration. Au vu de la médicalisation croissante de la société actuelle, et du certaine pathologisation du normal (Hamilton, Messing et Chatterjee, 2011; Le Dévédec et Guis, 2013), les individus non-améliorés pourrait alors être potentiellement considérés comme des individus à l'état cérébral « pathologique » (Hamilton, Messing et Chatterjee, 2011). Les enjeux relatifs à la justice distributive sont clairement plausibles dans les sociétés occidentales où un grand nombre d'inégalités est déjà toléré (Farah *et al.*, 2004, Hamilton, Messing et Chatterjee, 2011; Chatterjee, 2006). Cependant, de part l'avantage économique de ce dispositif, d'autre y voit un avantage pour une implémentation de traitement dans les pays aux ressources limitées (Cabrera, Evans et Hamilton, 2013), ce qui va alors en faveur d'une certaine justice. Cet avantage pourrait certainement s'observer plus facilement entre pays qu'entre individus d'une société donnée.

Les questions de distribution équitable peuvent également poser des problèmes relatifs à la légitimité, si, lors d'une mise en compétition, certains viendraient améliorer leur performances avec la tDCS et pas d'autres. Le développement de l'utilisation de la tDCS dans le cadre de milieux compétitifs comme le milieu académique, celui du jeux vidéo ou encore celui du sport, renvoie au arguments méritocratiques d'une atteinte à l'authenticité, qui n'est pas sans rappeler les problèmes relatifs au dopage sportifs déjà identifiés (Nielsen et Cohen, 2008). La compagnie foc.us vend notamment des « *gaming head-set* », dont le but est d'améliorer les performances de joueurs (Foc.us, 2015). C'est notamment l'amélioration des performances attentionnelles et motrices qui semble intéressante ici : le temps de réaction des

joueurs pourrait diminuer, et leur dextérité manuelle à appuyer sur les touches pourrait également être améliorée.² Ces préoccupations sont réelles dans des milieux où la course à la performance est particulièrement marquée (Hamilton, Messing et Chatterjee, 2011), et où il pourrait être considéré que si ces améliorations ne sont ni authentiques ni méritées, elles ne sont alors pas recommandables moralement (Caplan, 2004). Il serait ainsi « tricher » que de recourir aux stimulations électriques (Madan, 2014). Cependant, pour certains auteurs, *enhancement* et vertu peuvent tout à fait coexister (Caplan, 2004). S'il est certes satisfaisant de surmonter défis et épreuves en repoussant ses limites, il peut aussi être satisfaisant d'obtenir des bénéfices qui « tombent du ciel » (Caplan, 2004). Ainsi, nous n'aurions pas toujours besoin de mériter notre bonheur pour être vraiment heureux, l'authenticité de nos actes ne venant pas forcément de la souffrance qu'a nécessité leur accomplissement (Caplan, 2004).

En poussant le raisonnement d'une atteinte à l'authenticité un peu plus loin, des questionnements relatifs à la nature humaine peuvent apparaître, notamment liés à l'identité et la personnalité, à savoir si les modifications cognitives permises par la tDCS pourraient être responsables de la modification de ce qui nous définit comme ce que nous sommes, et si l'on doit ou non considérer que l'on peut réduire ce qui nous définit à nos simples données neurophysiologiques (Cabrera, Evans et Hamilton, 2013 ; Trimper, Wolpe et Rommelfanger, 2014 ; Hamilton, Messing et Chatterjee, 2011). Deux questionnements principaux découlent de ces préoccupations (Hamilton, Messing et Chatterjee, 2011) : 1) *les utilisations de dispositifs tels que la tDCS peuvent-elles et devraient-elles modifier les éléments fondamentaux de ce qui constitue l'identité propre ?* et 2) *quelle est la propension à estimer ces modifications ainsi que les conséquences inattendues sur le long terme ?*

En effet, on peut se demander s'il est probable que l'utilisation de la tDCS afin d'améliorer ses performances cognitives peut intervenir sur ce qui nous définit. Ces questionnements sont d'autant plus probants si l'on s'intéresse à l'amélioration de l'humeur ou de caractéristique cognitives « sociales » comme la patience ou l'empathie (Hamilton,

² Une expérience personnelle vient illustrer ces préoccupations : lors de la présentation d'un atelier de vulgarisation organisé avec une étudiante en doctorat de neuropsychologie sur la tDCS, s'est observé un intérêt particulièrement prononcé d'une partie de l'audience pour ce dispositif, notamment des individus que l'on peut qualifier de « *gamers* ». Malgré la présentation et la discussion sur les risques potentiels liés à l'usage de ce dispositif pour améliorer ses performances, l'aspect amélioratif semblait suffisamment intéressant pour que ces personnes nous demandent tout de même où il était possible de se procurer une tDCS.

Messing et Chatterjee, 2011). De plus, une co-modification de traits cognitifs étant envisageable, on peut questionner l'impacte de la tDCS sur des paramètres parallèles, notamment au vu des caractéristiques du développement du caractère et de la psychologie individuelle (Hamilton, Messing et Chatterjee, 2011; Cabrera, Evans et Hamilton, 2013). Dans ce sens, on peut également s'inquiéter d'une certaine uniformisation des individus, à savoir si tout le monde en vient à améliorer les mêmes traits de caractères et les mêmes caractéristiques cognitives, celles qui semblent valorisées et valorisables dans une société donnée. Toujours repousser les frontières de la norme risquerait ainsi de conduire à une quête sans fin. La réelle amélioration du bien-être et du bonheur est alors questionnable, d'autant que l'humanité a pu être heureuse jusqu'à présent sans stimulation électrique (Dresler *et al.*, 2013 ; Madan, 2014 ; Schleim, 2014 ; Nagel, 2014).

Ainsi, la mise sur le marché de ce dispositif est trop précoce. La transparence des fournisseurs de tDCS peut-être questionnée, notamment au regard des promesses de sûreté et d'efficacité, qui pourraient être vues comme de la publicité mensongère, voir créer des faux espoirs, d'autant plus en ce qui concerne le manque de clarté vis à vis des technologies vendues comme sur Thync.com. La vente en ligne semble ainsi porter atteinte au principe de non-malfaisance, mais s'accompagne également d'enjeux éthiques plus larges, qui dépassent le seul contexte de l'usage privée de cette technologie.

Un enjeu de santé publique

Les risques présentés ici lors de l'utilisation de la tDCS pour un usage mélioratifs « maison » présente différents niveaux de prospectivité et de dangerosité. L'analyse de ces paramètres est nécessaire pour une mise en place de modes de régulation pertinents, notamment en vue de prioriser l'encadrement. Si l'on suit le modèle choisi ici, pour qu'un risque entre dans la catégorie de risque acceptable « minimal », il est nécessaire qu'il ne soit pas supérieur aux risques encourus dans la vie de tous les jours (Williams-Jones, Olivier et Smith, 2013). Lorsque le risque dépasse cette limite, il peut être équivalent aux bénéfices potentiels de la recherche (présentant ainsi un risque de double-usage de niveau moyen) ou largement supérieur (risque élevé). Dans le contexte qui nous intéresse ici, il s'agit d'évaluer ce niveau de risque pour l'usage de la tDCS comme un produit de la recherche, soit d'évaluer le niveau de risque associé à son usage neuroamélioratif. Il est donc nécessaire de s'attarder

premièrement sur le niveau de dangerosité de chacun des risques. Leur probabilité de survenue est également variable, et dépend de différents facteurs, dont notamment l'efficacité de la tDCS, son acceptation publique et la prévalence de son usage, données faisant encore l'objet d'incertitude. Les risques ont ainsi été classés selon leur niveau de dangerosité et leur probabilité de survenue, afin de déterminer lesquels sont ici les plus imminents. Il est à noter que cette analyse place l'usage de la tDCS dans un contexte particulier : les risques présentés sont confrontés aux bénéfices dans le contexte de sociétés occidentales et pour usage neuroamélioratif seulement, selon les connaissances actuelles et en vue de mettre en place un encadrement approprié.

Des risques potentiels acceptables *a minima*

Selon cette analyse, il est des risques qui ne dépassent pas le niveau de risque minimum acceptable, ne présentant pas une menace supérieure à celle rencontrée au quotidien. Le premier risque qui entre dans cette catégorie est celui des effets secondaires à court-terme qui surviennent lorsqu'on respecte des règles basiques de sécurité, à savoir celles qui sont actuellement utilisées en recherche. Notamment, de légères sensations de picotement et de démangeaisons sous les électrodes ainsi qu'une fatigue modérée ont pu être observées lors de la stimulation (Poreisz *et al.*, 2007). Après la stimulation, des maux de têtes, et de plus rares nausées et insomnies ont été reportés. Ces effets indésirables sont apparus tant chez des individus sains que des individus souffrants de troubles neurologiques, avec une plus forte incidence de démangeaisons et sensations de picotement chez les sujet non-malades (Poreisz *et al.*, 2007). Ces effets sont transitoire car observés pendant ou peu après la stimulation, et mineurs (Poreisz *et al.*, 2007). Si ces risques sont aujourd'hui avérés, ils ne représentent pas un risque supérieur à celui rencontré quotidiennement.

Le risque d'atteinte à la justice distributive, bien que préoccupant, semble également tomber dans cette catégorie. En effet, une distribution égalitaire des ressources, notamment lorsqu'il est question d'autres modes de neuroamélioration, n'est déjà pas assurée (Farah *et al.*, 2004). De plus, la distribution non-équitable d'une technologie dont l'efficacité sur les sujets sains reste encore à démontrer n'est pas un risque dont il est profondément nécessaire de se préoccuper. Ce risque est en effet hautement dépendant de l'efficacité de la technologie : si la tDCS ne permet pas d'améliorer ses performances cognitives, il n'y a pas d'intérêt à la

distribuer équitablement. La neuroamélioration n'étant pas la seule chose injustement distribuée, dans un monde où l'inégalité est déjà tolérée, il semble que l'urgence des préoccupations en terme de justice distributive ne la place au premier plan (Farah *et al.*, 2004, Chatterjee, 2006). De plus, comme pour les psychostimulants, si la tDCS venait à être efficiente, il se pourrait qu'elle soit, d'une certaine manière, plus facile à distribuer équitablement que d'autres ressources, comme la nourriture ou l'accès aux universités prestigieuses (Farah *et al.*, 2004).

Également, on peut questionner à quel point la tDCS introduit un risque supplémentaire de coercition implicite que celui de la pression sociale déjà opérée, étant issue des impératifs de performances de nos sociétés compétitives (CCNE, 2014). Si l'apparition de ce genre de pression est fortement probable (Hamilton, Messing et Chatterjee, 2011; CCNE, 2014), il concerne plus un ensemble de technologies de neuroamélioration que la tDCS en particulier. Pour que la mise en vente de la tDCS puisse réellement être responsable de ce genre de coercition, il est nécessaire que cette technologie connaisse à la fois un développement conséquent et une forte acceptation sociale. En effet, pour que des individus se sentent obligés de répondre à des impératifs de performance *via* la tDCS plutôt que d'autres technologies comme, par exemple, des psychostimulants, il faut que l'utilisation de cette dernière soit largement développée, et relativement bien acceptée. L'ampleur de l'atteinte à l'autonomie que pourrait représenter cette coercition est ainsi dépendante de facteurs encore inconnus. Il ne s'agit pas de reconnaître ce risque comme insignifiant, mais plutôt de l'inscrire dans des préoccupations plus larges. Une réglementation sur la technologie choisie ne saurait être suffisante pour y remédier, et il semble que la tDCS n'introduise pas encore un risque de coercition supérieure à celui que l'on peut retrouver quotidiennement.

Enfin, le risque d'une atteinte à l'authenticité et, par extension, à ce qui constitue l'identité propre d'un individu, semble également pouvoir être classé dans cette catégorie. Certains auteurs s'inquiètent de savoir si les utilisateurs restent encore « eux-mêmes » quand leurs performances sont améliorées (Cabrera, Evans et Hamilton, 2013 ; Hamilton, Messing et Chatterjee, 2011; Pustorvh, 2014) ou si les performances observées sont véritablement authentiques et méritées (Caplan, 2004). Ces risques seraient de nature relativement élevés s'ils étaient avérés. Cependant, ils dépendent non-seulement de différents facteurs relatifs à la tDCS, mais aussi d'une position morale et philosophique. Il est en effet difficile de décider

quelle douleur doit être soufferte pour construire la personnalité et laquelle doit être raisonnablement abolie (Chatterjee, 2006). De plus, une partie des questionnements quant à la moralité d'avoir recours à ce genre de technologies ne sont valides que pour une utilisation efficiente de celle-ci, ce qui n'est pas encore le cas, bien que l'on peut également questionner la validité morale de la simple motivation à se neuroaméliorer et à dépasser ses limites, quelque soit le résultat (Nagel, 2014). Comme pour la coercition implicite, ces préoccupations s'inscrivent également dans un débat de plus grande ampleur, relatif à la neuroamélioration en générale, et ce risque ne peut encore être considéré comme supérieure à celui rencontré quotidiennement, car, vu le manque d'efficacité, la tDCS n'introduit pas encore plus de risque de modifier personnalité et authenticité que des substances et modalités d'amélioration déjà disponibles. Bien qu'elles soient de nature profondément éthiques, il est difficile d'envisager une façon de prendre en compte ces préoccupations dans des politiques publiques ou des normes sociales (Chatterjee, 2006).

L'ensemble des risques *minimum* acceptables qui ont trait à l'usage de la tDCS ne semblent donc pas être à prendre en compte de façon prioritaire dans la mise en place d'une régulation. Cependant, un risque minimal n'est pas pour autant un risque insignifiant : les préoccupations relatives aux atteintes possibles à l'autonomie par le biais d'une coercition implicite ou à la modification de la personnalité sont particulièrement alarmantes et méritent une attention particulière. Cependant, dans le cas qui nous intéressent, il s'agit plutôt de risques de second plan, qui font l'objet de préoccupations moins urgentes que des risques plus élevés et moins prospectifs, ou qui sont difficilement gérables par un simple mécanisme d'encadrement de la tDCS.

Des risques élevés prospectifs

Une deuxième catégorie de risques apparaît avec l'analyse proposée : celle de risques élevés, donc supérieurs aux bénéfices potentiels de l'usage de la tDCS, mais hautement prospectifs, car dépendant de nombreux facteurs sur lesquels on ne dispose que de très peu de données (comme la prévalence, l'efficacité et l'acceptation). Le niveau de risque d'une possible atteinte à l'équité, relative aux préoccupations sur la légitimité d'avoir recours à la tDCS dans des contextes compétitifs, pourrait s'avérer minimal. En effet, ils existent des différences interindividuelles socio-économiques tant que cognitives, qui font que les individus

ne sont fondamentalement pas égaux à la base (Farah *et al.*, 2004 ; Chatterjee, 2006). Les performances intellectuelles étant hautement différentes d'une personne à l'autre, la loterie naturelle ne place déjà pas les individus sur un pied d'égalité. En somme, l'utilisation de la tDCS ne serait qu'un facteur supplémentaire à l'inégalité déjà existante, d'autant que les preuves de son efficacité améliorative sont encore à démontrer. Cependant, si les améliorations cognitives venaient à être probantes et la tDCS hautement effective, certains contextes pourraient favoriser un risque d'inégalité supérieure à celui rencontré dans la vie de tous les jours, notamment lorsqu'on imagine une utilisation injuste lors de compétition. Si la tDCS permettait ainsi des améliorations cognitives significatives, il pourrait être considéré qu'y avoir recours n'est pas légitime, et correspond à une forme de « dopage ». Des mesures comparables à celles de l'interdiction de produits dopants prédéfinis en sport pourraient être envisagées (Nielsen et Cohen, 2008).

Également, s'il ne s'observe pas aujourd'hui de coercition explicite d'une autorité (ex. : enseignants, patrons ou parents) sur des individus (ex. : élèves, employés ou enfants,) relative à l'utilisation privée de la tDCS, son apparition représenterait un risque hautement élevé d'atteinte à la liberté individuelle et à la liberté de choix, et ce quels que soient les risques et bénéfices qui s'avèrent accompagner cet usage (Hamilton, Messing et Chatterjee, 2011; Farah *et al.*, 2014). Une telle coercition est non-justifiable, et l'est d'autant moins dans le cas de risques inconnus, ou de risques graves avérés. Aucun cas de pression comparable n'est cependant reporté à l'heure actuelle, et si un tel développement est considéré comme probable (Hamilton, Messing et Chatterjee, 2011; Hildt, 2014 ; Pustorvh, 2014 ; Lapenta *et al.*, 2014), ce risque est encore incertain. On peut également supposer que cette apparition est également hautement reliée à l'efficacité et l'acceptabilité de la tDCS.

Enfin, des risques relatifs à la sécurité issus des effets à long-terme et inattendus pourraient survenir. Ces préoccupations sont particulièrement importantes pour un usage privé et neuroamélioratif de la tDCS (Hamilton, Messing et Chatterjee, 2011; Hildt, 2014 ; Pustorvh, 2014). Lorsque l'usage de la tDCS est offert dans un contexte médical, il est donné par un expert qui respecte des standards médicaux fondamentaux concernant la sécurité, la balance des risques et bénéfices, ou le consentement éclairé (Hildt, 2014). En l'absence de lignes de conduite officielles, il est difficile de garantir que l'utilisation est réellement sécuritaire. Les normes de sécurité respectées en recherche permettent notamment d'éviter des

risques d'hyperactivités toxiques ou de surchauffes cérébrales pouvant provoquer dommages neuronaux, tissulaires ou respiratoires qui peuvent être conséquents, si l'intensité de courant ou le positionnement correct des électrodes ne sont pas respectés (Nitsche *et al.*, 2003). De plus, vu que la tDCS pourrait baser ses améliorations sur des mécanismes à long terme, certains s'inquiètent que les effets indésirables ne soit pas juste transitoires (Cabrera, Evans et Hamilton, 2013). Si ces risques venaient à survenir ils seraient, de toute évidence, supérieurs au risque minimal encouru dans la vie quotidienne. Et si les bénéfices attendus venaient à ne pas être réalisables, ces risques dépasseraient alors largement les bénéfices potentiels de la tDCS sur les individus non-malades.

Même si l'apparition de ces risques est hautement prospective et ne fait l'objet d'aucune certitude, la gravité assurée qui y est associée est, elle, probante. Si l'on s'inscrit dans une approche préventive, il semble nécessaire que ces éventualités fassent l'objet de régulation, et que plus d'études soient réalisées pour diminuer l'incertitude associée à leur apparition, avant que l'usage de la tDCS ne se développe.

Des risques moyens avérés

Enfin, il est des préoccupations plus concrètes, qu'aucun ne peut réfuter raisonnablement. Seul le poids qu'on accorde à ces risques par rapport aux bénéfices potentiels va varier selon les positions, tombants ainsi dans la catégorie des risques moyens, car potentiellement équivalent aux bénéfices imaginables.

Les effets inattendus ou les bénéfices réels sont encore à investiguer, mais le risque d'une atteinte au consentement éclairé des utilisateurs est lui, avéré, vu le manque de transparence et d'informations sur cette incertitude. De plus, en promettant des bénéfices certains aux utilisateurs d'amélioration de la qualité de vie, le risque de la création de potentiels faux espoirs est également peu spéculatif. Ce risque est d'autant plus problématique quand il concerne un public de personnes vulnérables, comme les adolescents qui pourrait être particulièrement exposé à ce genre d'usage (Maslen *et al.*, 2014b), des personnes âgées ou des personnes aux capacités limitées.

Ce manque de transparence n'est pas préoccupant seulement pour les individus sains qui risqueraient d'utiliser ces technologies, mais également pour les individus souffrants, vu que la tDCS n'est pas encore disponible comme traitement, qui pourrait chercher à se la

procurer quand même. En effet, si le débat autour de la vente en ligne de la tDCS concerne essentiellement son utilisation par des individus non-malades, il est aussi possible que des personnes aux maladies non-traitables ou difficilement traitables cherchent à utiliser ce dispositif expérimental en dehors de l'avis d'un expert médical. Les personnes vulnérables dont il est question ici peuvent également être des malades ou aidant proches, qui ne sont pas forcément dans la zone grise de la définition d'une pathologie.³ Ces personnes peuvent également être des sujets âgés en bonne santé mais faisant face à un déclin cognitif normal, tout comme des personnes atteintes de démence, puisque des études démontrent des améliorations potentielles chez ces personnes (Hsu *et al.*, 2015). La disponibilité d'un tel dispositif en ligne pourrait également amener les utilisateurs à requérir conseil et, à terme, prescription, de leur médecins (d'autant que les sites web préconisent de les consulter si des effets indésirables apparaissent). Un risque de distorsion des priorités de santé est alors également envisageable (CCNE, 2014).

Les préoccupations imminentes viennent précisément de l'incertitude associée aux risques et bénéfices de cet usage. Le manque de transparence associé à cette mise en vente pose des problèmes relatifs au respect du consentement des consommateurs, et une probable atteinte à l'intégrité physique à celui de la non-malfaisance. De l'exagération des bénéfices potentiels pourrait aussi naître la création de faux espoirs pour des personnes vulnérables. Ces risques avérés sont cependant à confronter aux bénéfices éventuels que pourrait représenter cette technologie, et peuvent ainsi être considérés comme des risques de niveau moyen. La non-efficacité de cette technologie dans l'amélioration cognitive souhaitée n'est pas tant responsable d'un débat fantôme qu'elle priorise les enjeux et risques à réguler. En effet, cet usage ne répond alors plus des valeurs de la science (un bien pour la société), mais de valeurs commerciales (créer un besoin)⁴.

³ Bien que cette inquiétude est spéculative, il semble qu'elle s'inscrive dans une certaine réalité comme a pu l'illustrer une expérience personnelle. Suite à la réalisation de l'atelier mentionné plus tôt, nous avons été contactées par une femme dont le mari était atteint de la maladie d'Alzheimer, qui nous demandait si nous pouvions lui vendre ou lui dire où se procurer une tDCS car, ayant un enfant, elle et son mari souhaitaient qu'il reste en vie et en bonne santé mentale le plus longtemps possible.

⁴ Cette observation s'enlignait avec des observations du domaine des STS sur le développement de nouveaux régimes de productions des savoirs : « *L'économie de la promesse engendre la nouveauté pour la nouveauté ; et peut produire ses propres objectifs (le human enhancement), parfois en contradiction avec les priorités de la santé publique* » (Bonneuil et Joly, 2013, p. 31).

Il peut sembler difficile d'imposer un cadre à ce genre d'usage dans les cultures aux fortes tendances libertariennes, où l'on tend à reconnaître la primauté de l'autonomie (Cabrera, Evans et Hamilton, 2013; Chatterjee, 2006), où il peut être difficile d'imaginer que les individus ne vont pas insister pour prendre des décisions qui concernent leur propre corps et cerveau, que ce soit pour le meilleur ou pour le pire (Chatterjee, 2006). Cependant, il est primordial que l'on s'attarde sur une façon de limiter l'usage mélioratif privé de la tDCS, au vu des risques présentés, qu'ils soient déjà présents ou plus prospectifs. Ici, une analyse en fonction du risque issue du concept de double-usage refuse toute approche libérale sur l'encadrement de la neuroamélioration, vu que certains d'entre eux sont d'un niveau non-négligeable, et place ainsi les recherches sur la tDCS comme des recherches au risque de double-usage potentiel moyen.

Gouvernance de l'utilisation privée de la tDCS

Des lacunes dans l'encadrement

La réglementation concernant les technologies de stimulations transcrâniennes est beaucoup moins claire que celle pour les psychostimulants chimiques (Dubljević, 2014). Comme ils ne sont, à l'heure actuelle, ni des outils diagnostiques ni des traitements, les dispositifs dont il est question ne sont pas identifiés comme des dispositifs médicaux, sortant ainsi du cadre de la réglementation des agences telles que la *Food and Drugs Administration* (FDA) états-uniennes, la *Medical Devices Directive* (MDD) européenne ou Santé Canada (Maslen *et al.*, 2014a ; Cabrera, Evans et Hamilton, 2013 ; Dubljević, 2014). La tDCS ne fait d'ailleurs pas encore l'objet d'approbation clinique, les résultats étant expérimentaux et les effets secondaires reportés apparents bénins (Cabrera, Evans et Hamilton, 2013). Si d'autres technologies de stimulation font aujourd'hui l'objet d'approbation clinique dans certains cadres, comme la rTMS autorisée par la FDA depuis 2012 pour le traitement de la dépression (FDA, 2012), ce n'est pas le cas de la tDCS. Les compagnies mentionnent elles-mêmes que leurs dispositifs ne font pas l'objet d'une telle approbation : « *Neuromodulation has a physiological effect and so the foc.us v2 has been tested to European Medical CE standard 60601:2. This does not mean it is a medical device though and should be used for lifestyle enhancements only* » (Foc.us, 2015). « *Based on intended use and output characteristics, the*

FDA notified Thync that its device is not subject to medical device regulations requiring pre-market clearance or approval » (Thync.com, 2015).

Aucune réglementation ni ligne directrice officielle ne s'intéressent aux usages neuroamélioratifs dont il est question ici. Les sites web mentionnés ne vendent pas ces dispositifs à des fins thérapeutiques, ce qui est clairement explicité : « *The intended use of the Thync System is to deliver pulsed neurostimulation waveforms to modulate psychophysiological arousal for lifestyle or wellness applications. The Thync System is not intended to treat or diagnose any disease or medical condition* » (Thync.com, 2015). On peut cependant questionner la suffisance de cette mention pour prévenir des risques éventuels associés à l'usage de la tDCS, ou de la nécessité de se décharger de toutes responsabilités si la tDCS est véritablement sûre.

Sans ligne directrice officielle, de potentiels abus et excès sont à envisager (Hildt, 2014 ; Lapenta *et al.*, 2014 ; Pustorvh, 2014). Lesdits sites web fournissent tout de même quelques recommandations, qui consistent principalement à restreindre l'usage à un type particuliers d'utilisateurs : des utilisateurs en parfaite santé, sans aucune condition médicale qui pourrait être problématique. Par exemple, ces compagnies ne préconisent pas l'utilisation de ces dispositifs chez les femmes enceintes, les personnes souffrants d'épilepsie, de convulsions, de lésions cérébrales, de dépression bipolaire ou de maladies cardiaques sévères (Foc.us, 2015 ; Thync.com, 2015). Les deux compagnies précisent également que les dispositifs ne devraient pas être utilisés chez les enfants et adolescents de moins de 18 ans, et de cesser l'utilisation immédiatement si des effets indésirables venaient à apparaître (Foc.us, 2015 ; Thync.com, 2015).

Pour rassurer ces utilisateurs, la compagnie Thync renvoie cependant à un article scientifique dans sa rubrique « safety », où il est explicité que différents dispositifs de stimulation transcrâniennes électriques (tDCS ou tPCS) ont été testés sur 100 volontaires sains, et n'ont reportés aucun effets secondaires sérieux (Paneri *et al.*, 2015). S'il est mentionné que « *the present study represents the most comprehensive analysis of tES tolerability and safety in healthy subjects to date* » (Paneri *et al.*, 2015; p.1), cet article n'a

pas été révisé par un comité de pairs⁵, et bons nombres de participants ont été exclus s'ils pouvaient présenter des risques de complications (comme des troubles neuropsychiatriques qui impliquent un traitement ou des migraines chroniques) (Paneri *et al.*, 2015; p.1).

Cela ne signifie pas que les dispositifs de stimulation transcrânienne sont forcément dangereux. Les protocoles de recherche qui utilisent ces technologies se basent sur des critères spécifiques afin de garantir une utilisation sécurisée. Notamment, pour limiter les dommages neuronaux, le dispositif doit fournir une intensité de courant constante (et non de voltage constant qui pourrait provoquer des changements d'intensité si la résistance est mauvaise) (Nitsche *et al.*, 2003). Afin d'éviter des troubles éventuels graves (comme des psychoses ou des arrêts respiratoires) il est nécessaire de positionner les électrodes correctement afin de garantir que le tronc cérébral ne soit pas touché (Nitsche *et al.*, 2003). Afin de minimiser les réactions chimiques à l'interface peau-électrodes (et empêcher les risques de lésion), la tDCS doit être réalisée avec des électrodes de caoutchouc (soit non-métalliques) complètement recouvertes d'éponges imbibées d'eau saline. Enfin, les stimulations qui pourraient être responsables de changements de l'excitabilité neuronale qui dépassent plus d'une heure doivent être réalisées avec beaucoup de précaution, tout comme celles qui sont réalisées plus d'une fois par semaine. Lorsque ces standards sont respectés, les effets dommageables issus d'une hyperactivité et d'un échauffement des tissus cérébraux sont peu probables, causés uniquement lors de stimulations à hautes fréquences pendant plusieurs heures et d'une intensité non-adaptée (Nitsche *et al.*, 2003).

Régulations en « pour-parler »

Vu les lacunes concernant la réglementation des stimulations électriques transcrâniennes, il est intéressant de faire le tour des modes de régulations en « pour-parler » qui concernent la tDCS et son usage mélioratif, afin de voir de quelle façon opérer cet alignement. Pour remédier à ce manque d'encadrement, il a notamment été proposé d'étendre le modèle de régulation biomédicale aux dispositifs d'amélioration (Maslen *et al.*, 2014, (a)). Cette approche serait d'autant plus pertinente que les dispositifs sont les mêmes (ce qui est

⁵ Une recherche GoogleScholar donne accès au même article selon la plateforme PeerJ, où il est mentionné que l'article n'a pas été revu par un comité de pairs, et qu'il s'agit d'une « *rapid communication before peer review* » (<https://peerj.com/preprints/1097/>, 28 juin 2015).

vrai pour les psychostimulants ou la DBS mais moins pour la tDCS qui n'est pas encore un outil thérapeutique) et que la frontière entre le « normal » et le « pathologique » est floue et mouvante (Maslen *et al.*, 2014a). En évinçant cette distinction, ce modèle renforce ainsi le risque identifié d'une distorsion des priorités de santé (CCNE, 2014). Ce risque est relativement préoccupant dans un contexte de ressources en santé limitées, d'où certains posent la question de la légitimité d'utiliser ces ressources dans le cadre de l'amélioration des performances (De Ridder, Vanneste et Focquaert, 2014). En effet, augmenter les capacités cognitives plutôt que pour soigner ou prévenir la maladie n'est pas forcément dans les objectifs de la médecine (De Ridder, Vanneste et Focquaert, 2014), surtout dans le cadre de bénéfices incertains et de risques probables (Forlini et Racine, 2012), ce qui est le cas pour la tDCS comme pour d'autres dispositifs aux perspectives amélioratives.

Peut-être moins coûteuse, la proposition d'un forum officiel en ligne ou la communauté des utilisateurs de la tDCS pourrait recevoir conseils et lignes directrices en matière de sécurité, avec la possibilité de consulter un expert (scientifique ou clinicien) a été énoncée (Fitz et Reiner, 2013). Cette proposition s'enlignait avec un principe de réduction des méfaits qui va dans le sens de la demande de conseils et d'expertise des utilisateurs actuels de la tDCS, comme observé sur les forums sur le sujet (Fitz et Reiner, 2014). Cependant, là aussi, la solution n'est pas sans coût, notamment relatifs à la disponibilité des experts (Fitz et Reiner, 2013), d'autant que sans mesure spécifique supplémentaire, cette proposition suppose une participation volontaire des professionnels de santé.

Étendre le modèle de régulation biomédicale suppose de pondérer risques et bénéfices associés à l'usage amélioratif de façon similaire, mais non-identique, à celle de l'approbation des dispositifs médicaux, en vue d'interdire ceux qui présentent des risques élevés (comme les risques de convulsions ou de lésions) (Maslen *et al.*, 2014a). Si les risques associés à l'utilisation de la tDCS que l'on connaît ne sont pas de cette envergure, ils se pourraient alors que l'on en vienne à une simple mise en garde ou limitation. De plus, cette pondération semble aujourd'hui difficile à réaliser de façon adéquate, comme mentionné précédemment, au vu du manque de recul et de connaissances tant sur les risques que sur les bénéfices potentiels de la tDCS. D'autant qu'il semble que les modèles d'approbation de dispositifs biomédicaux par des agences sanitaires telles que la FDA ou Santé Canada semble déjà connaître des lacunes.

Notamment, il a été démontré que les études postérieures à la mise sur le marché de dispositifs médicaux montrent un besoin de preuves plus robustes, l'autorisation préalable à cette entrée se faisant sur la base d'études insuffisantes (Mathieu et Williams-Jones, sous presse b). Si le risque « zéro » n'existe pas, une faiblesse dans l'évaluation des bénéfices et des risques dans l'approbation de dispositifs par ce genre d'agence est un problème majeur pour assurer la protection des patients et la confiance du public (Mathieu et Williams-Jones, sous presse, a,b). Ainsi, passer la tDCS au travers de cette pondération à l'heure actuelle, les risques reportés étant de trop faible ampleur, conduirait certainement à une approbation. De plus, étendre le modèle biomédical en vue d'une approbation sanitaire de la tDCS pourrait créer une fausse perception que ces technologies sont bénéfiques (De Ridder, Vanneste et Focquaert, 2014), tout comme encadrer et limiter les risques par un forum risquerait peut-être d'augmenter le nombre d'utilisateurs (Fitz et Reiner, 2014). En effet, si les technologies de neuroamélioration sont perçues comme inefficaces, il y a peu de chance que leur usage ne se développe, et le risque pour la société sera alors moindre. Cependant, si ces dispositifs font l'objet d'une approbation, ils risqueraient d'être perçus comme efficaces par les usagers, bien que cela ne soit pas le cas (De Ridder, Vanneste et Focquaert, 2014).

Étendre le modèle biomédical sur la base du bien-être plutôt que du bénéfice thérapeutique vient avec d'autres considérations. Si ce modèle s'accorde certes avec la définition de la santé de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) (impliquant un bien-être physique, mental et social complet) (De Ridder, Vanneste et Focquaert, 2014), il pourrait être particulièrement compliqué de le définir, soit d'en donner une mesure objective. Le bien-être est en effet une variable subjective hautement dépendante des circonstances et de l'état psychologiques des individus (King, Gavaghan et McMillan, 2014). De plus, en cherchant à améliorer le bien-être par des stimulations transcrâniennes, on cible la psychologie du sujet plutôt que les circonstances qui sont responsables de cet état psychologique (Schleim, 2014). Changer le sujet par rapport aux circonstances plutôt que les circonstances par rapport au sujet n'est peut-être pas la façon la plus prometteuse d'atteindre le bien-être (Schleim, 2014). Certains auteurs doutent également de la capacité infaillible d'un individu à évaluer ce qui est nécessaire à son propre bien-être (King, Gavaghan et McMillan, 2014; Schleim, 2014 ; Nagel, 2014). Également, cette proposition de régulation n'englobe pas toutes les modalités d'usage de la tDCS, soit à la fois un produit, un service et un gadget (Dubljević, 2014). En effet,

contrairement à d'autres technologies biomédicales comme les psychostimulants, la tDCS est réutilisable indéfiniment ; ce modèle ne peut donc être appliqué à la tDCS seulement comme un service médical, négligeant le fait qu'elle existe également sous la forme d'un produit et pouvant provenir d'une fabrication artisanale (Dubljević, 2014).

D'autres propositions s'écartent d'une extension du modèle de régulation biomédical. Certains proposent ainsi de réguler ces dispositifs sur la base de leur sécurité combinée à leur usage personnel, sans pour autant les considérer comme des dispositifs médicaux, en favorisant notamment sensibilisation et éducation publique (De Ridder, Vanneste et Focquaert, 2014.). Afin de prévenir les risques associées à des stimulations de trop forte intensité ou un mauvais positionnement des électrodes, des manuels d'utilisation ainsi qu'une formation garantissant un minimum de contrôle professionnel pourrait être mis en place avant d'autoriser l'utilisation privée, qui pourrait par exemple restreindre l'usage personnel de la tDCS à des utilisateurs entraînés de plus de 25 ans (De Ridder, Vanneste et Focquaert, 2014 ; Dubljević, 2014). En découlant sur la remise d'une sorte de « permis », ceci permettrait de limiter les doses administrées et l'âge des utilisateurs, en s'accompagnant éventuellement de sanctions criminelles comparables à celle mise en place pour la consommation d'alcool (De Ridder, Vanneste et Focquaert, 2014 ; Dubljević, 2014; Maslen *et al.*, 2014a). Ce modèle pourrait découler en mesures prohibitives, qui restreigne possession et usages aux professionnels de santé (si l'on s'accordent avec toutes les formes que prennent la tDCS), qui présenterait un risque de marché noir, et risquerait de réserver la tDCS seulement à ceux qui ont les moyens, résultants en un système injuste et ineffectif (Dubljević, 2014).

Ces modèles de régulation semblent utiles seulement pour la gestion des effets secondaires et effets indésirables issus d'une utilisation non-adéquate, mais ne répondent pas aux autres nombreux enjeux mentionnés. De plus, la question demeure de savoir qui possèdent la responsabilité de l'évaluation du risque et de l'autorisation des usages amélioratifs de la tDCS, en particulier lorsque l'on reconnaît que celle-ci n'appartient pas aux agences sanitaires. Si le risque de l'apparition d'un marché noir dans le cas d'une prohibition totale est à envisager (Dubljević, 2014), un simple « laissez-faire » serait difficile à justifier, au vu du faits que les utilisateurs existent, et qu'il semble raisonnable de penser qu'il est possible que ce nombre augmente (Pustorvh, 2014 ; Hildt, 2014).

À qui revient la responsabilité de l'évaluation du risque ?

Selon le modèle d'analyse de Williams-Jones, Olivier et Smith (2013) appliqué ici, il est nécessaire de refléter les intérêts, avantages et désavantages particuliers de chacune des parties impliquées, dans la détermination du risque comme dans l'application d'un mécanisme à un type de recherches ou de technologies particuliers. Dans la plupart des modèles discutés, on laisse ainsi la responsabilité de faire l'évaluation du risque soit aux professionnels de santé, soit aux utilisateurs eux-mêmes. La régulation de la tDCS pourrait ainsi se faire selon un « *gate-keeper model* » où professionnels de la santé mettraient à bien leur connaissances et expertises dans la prescription de l'utilisation de la tDCS, se retrouvant alors responsable de la décision de délivrer ou non des stimulations électriques transcrâniennes dans une optique d'amélioration des performances (Dubljević, 2014 ; King, Gavaghan et McMillan, 2014). Cependant, ce modèle peut faire l'objet de différentes critiques, à savoir que les attentes dépassent peut-être ici l'expertise médicale des professionnels, si les médecins venaient à être des « gardiens moraux » de l'amélioration humaine (King, Gavaghan et McMillan, 2014 ; De Ridder, Vanneste et Focquaert, 2014).

En effet, s'il est difficile à l'heure actuelle de prendre une décision adéquate au vu de l'incertitude associée aux effets secondaires inattendus, on peut également douter de la propension des professionnels de santé à gérer les risques de nature éthique ou morale (comme ceux relatifs à l'équité ou l'authenticité), qui ne sont pas matériels et ne représentent pas un dommage pour le corps à proprement parler. De plus, il est à noter qu'un conflit d'intérêts potentiel pourrait apparaître du fait que la plupart des médecins qui utilisent ces technologies sont également les investigateurs (Cabrera, Evans et Hamilton, 2013), qui opposerait, entre autres, le désir de promouvoir le meilleur intérêt du patient *versus* celui de démontrer l'efficacité des techniques de stimulation. Comme alternative pourrait être créés des praticiens formés spécifiquement à la neuroamélioration, introduisant le *enhancement* dans la médecine un peu comme la chirurgie esthétique (King, Gavaghan et McMillan, 2014). En revanche, certains pensent qu'il est aux usagers d'évaluer s'ils veulent ou non prendre le risque d'utiliser la tDCS pour améliorer leur performance en connaissance de cause (Maslen *et al.*, 2014a), considérant que les citoyens ont probablement le droit de s'adonner à des activités

dangereuses tant que les standards de qualité sont respectés et que la protection des consommateurs et des pratiques commerciales équitables sont assurées (Dubljević, 2014).

Cependant, d'autres considèrent que les utilisateurs ne sont pas en position d'évaluer les risques associés aux dispositifs d'amélioration cognitive (Fitz et Reiner, 2014). Il existerait notamment un concept de « *risk compensation* », selon lequel les individus ont une propension à un certain degré de risque prédéfini. Quand ce dernier est réduit – comme par une amélioration des mesures sécuritaires – il est possible que les consommateurs augmentent le risque associés à leurs actions, jusqu'à rejoindre leur seuil de propension (King, Gavaghan et McMillan, 2014). Placer la responsabilité sur les utilisateurs une fois les lignes de conduites établies pourraient être tentant, mais peut aussi être vu comme un moyen pour la communauté scientifique et les décideurs de se déresponsabiliser. S'il peut paraître logique qu'une personne qui choisit d'utiliser la tDCS en connaissance de cause des risques et bénéfices (ce qui n'est, à l'heure actuelle, pas encore possible) est responsable de son choix, ceci semble moins évident quand, par exemple, on s'intéresse à des individus adolescents (Maslen *et al.*, 2014b), ou d'autres personnes vulnérables, qui pourrait avoir une tendance à surestimer les bénéfices et ne pas tenir compte des risques éventuels. Qui peut-être tenu pour responsable d'effets secondaires indésirables qui surviendraient suite à l'usage de la tDCS chez ce type de personnes ?

Souvent, ces modèles présupposent un relative ignorance et mécompréhension publiques des risques, ainsi qu'un certain engouement pour ces technologies (Dubljević, 2014 ; King, Gavaghan et McMillan, 2014). Du côté des études en neurosciences, un retour des participants aux études qui ont utilisé la tDCS est très peu investigué. On retrouve seulement des études qui investigue des facteurs tels que l'attention, la fatigue ou l'inconfort, le plus souvent en vu de la mise en place d'un traitement et non de neuroamélioration (Gandiga, Hummel et Cohen, 2006). On ignore cependant l'acceptance sociale de la neuroamélioration en générale, et celle des technologies qui nous intéressent ici en particulier. Cette acceptabilité sociale serait un indice non-négligeable pour évaluer la position politique à adopter face à l'encadrement des nouvelles technologies d'amélioration cognitive, dont la tDCS fait partie. La pertinence du choix entre la mise en place d'une interdiction ou d'une plus souple prévention est hautement dépendante de l'acceptation du public face à la tDCS.

Malgré les débats qui animent les académiques sur le sujet, on sait très peu de chose sur ce que le public pense de la « neuroamélioration », ou, du moins, leur point de vue a été très peu étudié empiriquement (Fitz *et al.*, 2013 ; Dijkstra et Schuijff, 2015). Certains auteurs parlent alors d'un débat désocialisé (Le Dévédec et Guis, 2013).

Une étude s'est pourtant intéressée à ce point de vue et a démontré que le public, loin d'être ignorant et incompetent sur la question, était « biopolitiquement modéré » face aux enjeux relatifs au développement de la neuroamélioration (Fitz *et al.*, 2013). Leurs réactions face aux quatre grands questionnements soulevés par les neuroéthiciens ont été testées ici (à savoir, les préoccupations relatives à la sécurité, à l'équité, à l'authenticité et à la pression sociale) (Fitz *et al.*, 2013). Plus d'études dans ce sens pourraient permettre d'affirmer une opinion générale face à ce phénomène, qui risque d'être extrêmement variable d'une population à l'autre, même au sein des sociétés occidentales elles-mêmes. Cette opinion a également été étudiée dans une revue de littérature (Dijkstra et Schuijff, 2015). Si de nombreux pays (en Europe, Amérique du Nord et Asie) ont expérimenté l'attitude du public face au *human enhancement*, seulement 38 études ont été réalisées sur 13 ans. Ces résultats montrent que le public a une attitude modérée à fortement opposée aux utilisations non-médicales de technologies, que les raisons individuelles qui motivent ces usages sont plus mal perçues que celles pour la société en générale, et que cette attitude dépend des technologies considérées (Dijkstra et Schuijff, 2015). L'étude de Fitz et collaborateurs (2013) a cependant montré que les individus ont plus de propension à accepter les risques quand l'objectif est de se soigner que lorsqu'il s'agit de se neuroaméliorer, sans qu'il existe une différence significative entre tDCS et substances chimiques (Fitz *et al.*, 2013). Dans cette même étude, a été mis en évidence qu'une *soft peer pressure* semble plus problématique qu'une pression de la société dans son ensemble, que l'équité d'une amélioration est reconnue seulement quand les sources de richesse et de performance sont issues d'un travail difficile, et que l'authenticité dépend plus d'une vision conséquentialiste : le mérite est plus grand lorsque l'on observe un succès, quels que soient les moyens d'y arriver (Fitz *et al.*, 2013). Cette opinion pourrait alimenter le débat de façon très pertinente, notamment dans mise en place politique (Dijkstra et Schuijff, 2015 ; Fitz *et al.*, 2013).

Cependant, le message délivré par les médias n'est que rarement précautionneux, et même plutôt enthousiaste (Dubljević, Saigle et Racine, 2014), ce qui pourrait influencer de façon non-négligeable la perception du public envers la neuroamélioration et la tDCS. L'engouement pour la tDCS dépasse ainsi le cadre du laboratoire pour atteindre également les journalistes, qui délivrent un message généralement optimiste et vendeur des effets de la tDCS. Des chroniqueurs eux-mêmes vont tester le dispositif pour ensuite faire part de leur expérience aux lecteurs (Yang, 2015 ; Cardoze et Massini, 2014 ; Adee, 2012), et les tutoriels YouTube, forum et commentaires que l'on retrouve sur la toile ne tarissent pas d'éloges sur les bénéfices à tirer de la tDCS (Fitz et Reiner, 2013 ; WindowsSoftwareDe, 2013 ; anthonynee 2012a,b). Lors d'un reportage télévisé diffusé le 6 mai 2014 en France, des journalistes présentent la tDCS comme « la vitamine du futur », qui permettrait d'être à 80% des capacités de son cerveau quand on est habituellement à 50% lors d'examen, et qui pourrait à l'avenir être utilisée en classe pour augmenter les capacités d'apprentissage d'élèves. Testée par le reporter, celui rapporte que la tDCS lui a permis d'augmenter ses capacités de 15% lors d'un test après seulement 5 minutes de stimulation (Cardoze et Massini, 2014). Bien que quelques rares exceptions (Fréour, 2015), où l'on mentionne l'incertitude quant aux risques et bénéfices associés à cet usage, un message positif médiatisé risquerait de conduire les individus à vouloir avoir accès à une technologie potentiellement risquée et dangereuse pour eux-mêmes comme pour les autres. Une potentielle voie responsable à suivre, comme identifié par Fitz et Reiner (2013), est suggérée par l'approche du National Science Advisory Board (NSABB) américain sur la façon de gérer les risques associés au développement d'amateurs biologistes, notamment en biologie de synthèse. Cette approche se veut encourager éducation et communication sur le double-usage de la recherche afin de promouvoir les motivations positives et de stigmatiser les mauvaises, dans le but de développer une culture de la responsabilité au delà du laboratoire, bien que les utilisateurs de la tDCS ne sont pas explicitement mentionnés (NSABB, 2011 ; Fitz et Reiner, 2013). Utilisateurs et médecins ne sont cependant pas les seules parties prenantes de cette évaluation.

Appliquer le concept de double-usage introduit également chercheurs et fournisseurs, qui sont parfois les mêmes personnes dans le cas qui nous intéresse ici (comme dans la compagnie Thync), dans cette responsabilité d'évaluation et de limitation du risque.

L'utilisateur ne peut-être en effet tenu pour seul responsable de cet usage détourné des objectifs de recherche initiaux. De même, les médecins ne sont pas forcément les investigateurs, et leur rôle est différent qu'ils occupent l'une ou l'autre des positions. Ces chercheurs-vendeurs de tDCS risqueraient de présenter des conflits d'intérêts potentiels pour évaluer le risque d'une technologie qu'ils pensent révolutionnaires, et dont ils tirent un bénéfice financier. Même si les fournisseurs expriment leur volonté de démocratiser une technologie prometteuse, il est nécessaire qu'ils démontrent plus de transparence sur les risques probables et les bénéfices réels des technologies vendues, et que l'information relative au caractère expérimental de ces résultats soit claire. Cette transparence est d'autant plus importante que des excès ou effets indésirables liés à l'utilisation de la tDCS risquerait de desservir la confiance du public envers la science et envers ce dispositif comme un outil thérapeutique.

Enfin, les chercheurs en neurosciences qui travaillent sur la tDCS, sans forcément être les fournisseurs, ont également une part de responsabilité dans l'évaluation des risques associés aux usages privés de la tDCS de part les connaissances qu'ils possèdent sur le dispositif et ses effets sur le système nerveux, et ce bien que cet usage n'est pas dans l'intention première de leurs recherches. Il existe cependant un manque d'expertise éventuel des chercheurs quand à l'identification des risques potentiels que représente l'utilisation secondaire de leur recherche et dans l'évaluation du mésusage qui en découle (Miller et Selgelid, 2007 ; Selgelid, 2009a). Si la censure ou l'autocensure de leurs recherches ne s'appliquent pas ici, le devoir de déclaration à une autre autorité peut-être envisagé, encore faut-il savoir laquelle. Le contrôle ici ne doit pas tant concerner la dissémination des résultats de recherche que l'application en elle-même. De part leurs connaissances, la responsabilité des scientifiques s'inscrit ici dans un devoir de transparence et de vulgarisation, bien que des mesures organisationnelles ou financières doivent venir permettre de les remplir.

Certains auteurs en appellent ainsi aux communautés investigatives, clinique, et légale de s'impliquer dans l'encadrement de l'usage mélioratif de la tDCS et autres dispositifs similaires, afin de pouvoir garantir l'utilisation la plus sûre possible par des utilisateurs qui existent déjà (Fitz et Reiner, 2014). Il semble cependant que ces responsabilités restent à définir plus précisément, à savoir, déterminer à quel niveau et de quelle manière un chercheur

peut et doit intervenir dans cette régulation, et à quel moment leur responsabilité laisse place à celle des autres. Si l'on peut répondre à certains risques par des gouvernances relativement usuelles (comme des lignes de conduites pour éviter les effets secondaires inattendus), il semble plus délicat de prendre en compte des risques plus abstraits, comme le risque de modifier ce qui constitue la nature humaine, sans s'enligner avec une totale prohibition précautionneuse. Ces risques étant dépendants des valeurs qu'une société va choisir de promouvoir (Nagel, 2014), on peut se demander qui est véritablement « expert » de leur évaluation. S'il est en effet difficile de poser une valeur absolue sur ces risques, il est cependant possible d'en informer les utilisateurs pour un véritable choix, ce qui implique que le devoir de vulgarisation ne concerne plus seulement les chercheurs en neurosciences, mais également ceux en bioéthique. Ces enjeux dépassent cependant le seul usage mélioratif de la tDCS, et dépendent de beaucoup d'autres facteurs, qui échappent aux recommandations qu'il est raisonnable de fournir dans l'analyse présentée ici.

Conclusion

Le développement de la vente en ligne de dispositifs de stimulation électrique transcrânienne est ainsi un phénomène préoccupant, au vu des risques qui l'accompagnent. Certains de ces risques semblent *minimum* et acceptables au vu des contextes dans lesquels ces usages se développent, comme les effets secondaires à court terme, les atteintes potentielles à la justice distributive, l'authenticité ou l'autonomie par une coercition implicite. Cependant, au vu de risques élevés, dont l'apparition reste encore à démontrer, comme de risques plus modérés à la survenue avérée, un encadrement de l'utilisation privée de la tDCS est à mettre en place expressément. Notamment, si une atteinte au consentement des utilisateurs et au principe de non-malfaisance est indiscutable, il est important d'établir des lignes de conduites officielles et claires, et d'avertir explicitement les utilisateurs des risques connus, tout comme de ceux non-investigués qui pourraient apparaître.

Le concept de double-usage est ici un outil diagnostique pertinent pour l'évaluation des risques associés à ce mésusage, notamment parce-qu'il nous permet, en considérant l'utilisation de la tDCS comme un mésusage de la recherche en neurosciences, de justifier un encadrement malgré la prospectivité associée à certains risques et paramètres de cet usage. Cet encadrement doit ainsi tenir compte tant des niveaux que de la prospectivité des risques

présentés, afin de garantir que les bénéfices potentiels de la technologies en question soient accessibles. En démontrant la pertinence de cette portée prospective et précautionneuse, cette analyse est utile non seulement pour les enjeux relatifs à la tDCS, mais aussi pour la mise en place d'un encadrement réactif de d'autres dispositifs similaires, comme la TMS, si leurs utilisations amélioratives venaient également à se développer.

Enfin, ce concept de double-usage introduit dans cette évaluation du risque différents acteurs, constituant un outil pertinent pour aider à délimiter les responsabilités qui incombent à chacune des parties prenantes (tels que décideurs, chercheurs, fournisseurs et utilisateurs). Sans condamner la neuroamélioration, une vulgarisation de la part des chercheurs, tant sur les aspects neuroscientifiques que sur l'éthique de ces usages est nécessaire, notamment afin de répondre aux risques de nature morale ou philosophique qui ne peuvent être gérés par des mesures prohibitives. Si chacun possèdent une part de responsabilité à assumer en fonction de ses connaissances et de celles qui vont advenir, une analyse plus approfondie est nécessaire, notamment afin de délimiter les frontières de ces responsabilités et de déterminer comment elles pourraient-être remplies.

Conclusion

Le présent mémoire possède une double-portée : celle de l'ouverture du concept de double-usage à un large champ de recherche, illustrée par la pertinence de l'appliquer aux recherches en neurosciences avec des perspectives de neuroamélioration ; et celle de la pertinence de réfléchir à l'usage amélioratif de technologies de neurosciences par le biais du concept, illustré notamment ici par l'exemple de la vente en ligne de neurostimulateurs.

La neuroamélioration, mésusage de la recherche en neurosciences

Usuellement, le double-usage de la recherche concerne les recherches aux potentielles applications à la fois civiles et militaires (Ehni, 2008 ; Selgelid, 2013 ; Williams-Jones, Olivier et Smith, 2013). Les neurosciences fournissent en effets outils et connaissances qui promettent un progrès considérable dans le domaine, que ce soit pour améliorer les performances des soldats, améliorer les techniques d'interrogatoire, ou développer des armes non-létales (Canli *et al.*, 2007 ; Tennison et Moreno, 2012 ; Trimper, Wolpe et Rommelfanger, 2014, Dando, 2011). L'engouement des agences de défense est grand, finançant massivement des projets relatifs aux neurosciences. La DARPA est une de ces agences et a fait couler beaucoup d'encre quant à son investissement dans des projets de recherches du domaine aux allures de science-fiction (Moreno, 2012 ; Trimper, Wolpe et Rommelfanger, 2014, Tennison et Moreno, 2012). Cette agence n'a jamais manqué d'audace, et le passage de la science-fiction à la réalité n'est pas si absurde qu'il n'y paraît, quand on voit l'auteur de science-fiction Isaac Asimov contribuer, en 1959, aux discussions sur la création d'un bouclier anti-missile mandaté par l'agence en question, et donnant des conseils d'aide à la créativité dans le texte inédit ayant fait surface il y a peu (Helmlinger, 2014; Obermayer, 2015).

L'utilisation militaire des neurosciences peut-être considérée comme un mésusage de la recherche car elle s'accompagne d'enjeux qui dépassent ceux auxquels l'éthique militaire usuelle pourrait répondre (Canli *et al.*, 2007), et qu'elle introduit de nouvelles préoccupations non-négligeables, relatives à l'autonomie des soldats ou à la responsabilité. Cependant, de nombreux autres usages sont potentiellement en désaccord avec les valeurs de la science. Une approche plus globale de l'évaluation des recherches au potentiel double-usage ainsi qu'une définition large de ces dernières (qui prend en compte différents types d'applications mais

aussi différents domaines de recherche) sont donc pertinentes et nécessaires pour ne pas manquer toute une partie des recherches qui pourraient faire face au même dilemme. Cette nécessité d'élargissement est particulièrement bien illustrée par l'exemple des recherches en neuroamélioration, bien que cela ne démontre en aucun cas que toutes les recherches sont à double-usage.

L'avancée de la recherche en neurosciences apporte ainsi de nouvelles technologies aux perspectives sans précédent. Motivée par un actuel *neurohype* (Legrenzi et Umiltà, 2011 ; Racine, 2010), cette avancée permet de multiples applications, dont la neuroamélioration fait partie, qui sont autant de mésusages potentiels. Il est aujourd'hui envisagé d'augmenter différentes performances cognitives à l'aide de technologies biomédicales, en dehors du contexte clinique ou investigatoire. Ces utilisations prometteuses s'accompagnent de différentes préoccupations éthiques et sécuritaires, notamment issues des effets indésirables inattendus qui pourraient survenir, d'une atteinte à l'autonomie par une pression sociale, à l'authenticité de la performance réalisée sous l'influence de stimulations artificielles, ou encore à la justice distributive (Farah *et al.*, 2004 ; Chatterjee, 2006 ; CCNE, 2014 ; Schutter, 2014 ; Pustovrh, 2014).

On peut également remettre en cause la notion de bien-être et l'amélioration réelle apportés par le recours aux procédés qui nous intéressent. En effet, le bien-être n'est sûrement pas lié seulement à l'amélioration de capacités cognitives comme la mémoire ou l'attention (Schleim, 2014), et ne se retrouve pas seulement dans la psychologie de l'individu mais aussi dans des circonstances socio-politiques qui l'entourent (Schleim, 2014). De nombreuses autres manières de se stimuler, qui sont aujourd'hui largement considérées comme acceptables, ont pu paraître suspectes et immorales à une époque donnée, telles que les mnémoniques ont pu être considérés comme immoraux au Moyen-âge, ou les écrits comme une simple apparence d'intelligence car constituant des aides externes qui ne sont pas issues de ressources innées (Madan, 2014). Il est alors légitime de se demander qu'elle est la différence morale entre un stimulus externe (comme un courant électrique) qui provoque une activité neuronale endogène et un stimulus visuel, auditif ou musculaire qui provoque cette même activité endogène naturellement et quotidiennement. De plus, on peut aussi remettre en question la nature indispensable des bénéfices qui pourraient être apportés par les technologies de stimulation transcrânienne, sachant que l'on a pu être heureux sans ces dispositifs, et qu'il existe de

nombreuses autres façons de se neuroaméliorer. Des méthodes non-pharmaceutiques (et qui ne sont pas des stimulations transcrâniennes) ont démontrées être hautement efficaces dans certains domaines cognitifs (comme le sommeil ou l'exercice mental et physique) (Dresler *et al.*, 2013). L'analyse des bénéfices apportés par la tDCS ou autres biotechnologies se doit de tenir compte de ces stimulants, afin d'évaluer leur potentiel novateur réel (Dresler *et al.*, 2013 ; Madan, 2014)

L'usage privée de la tDCS, soit une recherche d'amélioration au quotidien par le biais de dispositifs vendus en ligne ou bricolés, est un exemple de mésusage potentiel de la recherche en neurosciences pertinent. Il répond en effet aux caractéristiques qui définissent un mésusage : une dualité de l'utilisation (des perspectives à la fois potentiellement bénéfiques et potentiellement néfastes), une prospectivité de la menace (ici liée tant à l'apparition de certain risque qu'à la prévalence de l'usage), une non-intentionnalité scientifique (l'usage n'est pas dans les objectifs initiaux de la recherche), et des risques potentiels qui dépassent les bénéfices au vu des connaissances actuelles. Encadrer la neuroamélioration à la lueur du concept de double-usage de la recherche est ainsi pertinent, car il suppose d'agir de façon proactive selon un principe de précaution et de prendre en compte différentes natures et niveaux de risques. Ici, une analyse en fonction du risque a permis de mettre en évidence que des risques élevés non-prouvés, et des risques moyens avérés, accompagnent le développement d'une utilisation privée de la tDCS en vue de se neuroaméliorer. Cette analyse permet de prioriser les risques à prendre en compte dans un encadrement, en vue d'adapter les mesures de régulations potentielles : à savoir, des mesures prohibitives justifiées pour les risques les plus élevés ou avérés.

Ce concept met également en lumière la grande diversité d'acteurs impliqués dans le double-usage de la recherche, et plus particulièrement dans le cadre d'un mésusage de la tDCS. La question se pose de savoir s'il est pertinent de considérer que les chercheurs ont une part de responsabilité liée au potentiel mésusage de leurs études, et s'il est pertinent d'intervenir au niveau de la recherche, c'est à dire d'encadrer en amont des applications. Il semble en effet que l'utilisation de ce concept soit pertinente car il répond au dilemme présenté ici, mais aussi car il permettrait de justifier la recherche d'un encadrement relativement systématique et plus généralisable. Si cet encadrement est issu du potentiel

mésusage de la recherche, il pourrait répondre également aux nouveaux enjeux qui viendraient à apparaître avec les avancées technologiques et serait ainsi réactif. Identifier ce dernier dès la recherche permettrait de mettre en place son encadrement de manière réactive et préventive. Il a ainsi été démontré que le double-usage de la recherche n'est pas tant un cadre de gouvernance en soi qu'un concept utile pour pointer de façon proactive les utilisations des connaissances et technologies de recherche qu'il est nécessaire d'encadrer, et de réfléchir à la responsabilité d'un large panel d'acteurs. Plus d'études dans ce sens sont cependant nécessaires, notamment afin d'assurer délimitation et mise en pratique de ces responsabilités.

Vers une responsabilité partagée

Délimiter la responsabilité scientifique et celles des autres acteurs face au double-usage de la recherche est une des composantes de l'opérationnalisation du concept qui reste encore à développer. La responsabilité des chercheurs n'étant pas non plus clairement définie en ce qui concerne la neuroamélioration, le double-usage de la recherche pourrait être un concept particulièrement intéressant pour réfléchir à cet aspect du problème. Notamment, reconnaître le double-usage des recherches aux perspectives neuroamélioratives pourrait permettre de grouper la réflexion en neuroéthique et sur le double-usage concernant la responsabilité des scientifiques dans la prévention du mésusage. Le concept permet de mettre en relief les questions relatives à une certaine responsabilité partagée entre scientifiques, industries et gouvernements, dans un contexte où des recherches bien intentionnées peuvent conduire à de potentielles utilisations néfastes (Williams-Jones, Olivier et Smith, 2013). La mise en application du respect de cette responsabilité dans le cas d'un mésusage de la recherche est cependant encore débattue actuellement. La question demeure de savoir de quelle façon cet encadrement pourrait prendre place, à savoir, une autorégulation ou une hétérorégulation (Selgelid, 2013 ; Holptcamp, 2012). Déterminer le rôle de chacun des différents acteurs identifiés permettrait notamment de déterminer si une hétérorégulation serait plus adaptée qu'une autorégulation, la première nécessitant une certaine expertise de la part des scientifiques qui peut-être questionnée, la seconde pouvant paraître arbitraire.

Malgré la non-intentionnalité attribuée aux chercheurs dans le double-usage de leurs recherches, la littérature sur le double-usage et celle en neuroéthique semblent se rejoindre sur la responsabilité qui incombe aux scientifiques. En ce qui concerne le double-usage

traditionnel de la recherche en neurosciences, les auteurs en appellent à plus de conscience des scientifiques du mésusage potentiel de leur recherche (Trimper, Wolpe et Rommelfanger, 2014; Tennison et Moreno, 2012). On retrouve ce devoir de conscience du mésusage dans la littérature sur le double-usage de recherches d'autres domaines. Ce dernier correspond à une obligation morale de ne pas nuire, et donc de prévenir le mésusage associé aux recherches dans le cadre des capacités et habilités du chercheur, si ce mésusage est raisonnablement prévisible (ce qui implique un engagement actif des scientifiques à évaluer le potentiel mésusage de leur recherche) (Kuhlau *et al.*, 2008). Si, pour certains auteurs il est de la responsabilité des scientifiques de ne pas participer de manière intentionnelle ou non-intentionnelle au développement d'armes biologiques (Kuhlau *et al.*, 2008), on peut supposer que dans une moindre mesure il en est de même dans le cadre du développement d'autres mésusages, comme des utilisations mélioratives de technologies de recherche telles que la tDCS. Si le discours sur la responsabilité va dans le sens d'une obligation morale des scientifiques de prévenir un dommage, on peut étendre cette responsabilité aux dommages qui ne relèvent pas du bioterrorisme. Cette responsabilité est ici attribuée au chercheur par une ignorance coupable, la faute étant de ne pas chercher à diminuer ce manque de connaissance (Kuhlau *et al.*, 2011).

Ainsi, le chercheur se voit dans l'obligation de considérer les implications négatives de ses recherches (Kuhlau *et al.*, 2008 ; Ehni, 2008). Cette responsabilité peut s'observer comme une forme de complicité : « *the involvement of a scientist in a fatal case of unintended, harmful, and criminal dual use can be considered complicity in the sense of a weak indirect causality* » (Ehni; 2008). C'est également le cas des recherches en neurosciences aux perspectives de neuroamélioration, dans une certaine mesure, le mésusage n'étant pas dans l'intentionnalité du chercheur lorsqu'il réalise son travail. Lorsque des scientifiques prennent part à la mise en vente de dispositifs de stimulation transcrâniennes comme dans la compagnie Thync, cette complicité est d'autant plus explicite. Cette responsabilité complice est considérée comme prospective, et pourrait se définir par quatre devoirs: arrêter la recherche, systématiquement explorer les dangers de double-usage, informer les autorités publiques, ne pas publier ni les résultats ni les possibilités de double-usage (Ehni, 2008). Ces devoirs s'appliquent certes pour les recherches à haut risque de double-usage, mais méritent une analyse approfondie afin de les définir dans le cadre de recherches au risque moyen ou

modéré, comme c'est le cas pour les recherches aux perspectives de neuroamélioration, particulièrement en ce qui concerne la non-publication ou l'arrêt de la recherche, mesures particulièrement hégémoniques.

Ces obligations font cependant échos à celles qui incombent aux neuroscientifiques de manière générale. Parmi les responsabilités identifiées dans le travail de Racine et Illes (2006), trois concernent l'utilisation secondaire de la recherche : 1) La responsabilité civique et démocratique, qui implique que le chercheur doit avoir une vision large des implications de son étude, clarifier les limites de sa recherche et vulgariser avec prudence pour éviter les mauvaises interprétations. 2) Une responsabilité prospective implique que le chercheur doit considérer les conséquences futures de ses recherches qu'elles soient plus ou moins imminentes, aborder les problématiques néfastes et instaurer un dialogue entre les différents acteurs. 3) La réflexion autocritique engage les chercheurs à avoir une réflexion sur leurs propres travaux en fonction de l'histoire des sciences et des erreurs qui ont pu être faites par le passé (Racine et Illes, 2006).

Outre le fait que les « erreurs du passé » sont hautement contextuelles et difficilement transférables d'une époque à l'autre sans risquer de nier leurs fondements, on peut questionner la capacité d'un chercheur, qui n'est jamais moralement neutre, à évaluer objectivement l'impact négatif de ses propres recherches. D'abord, si le chercheur peut être considéré comme le mieux placé pour évaluer les implications de ses recherches, étant le plus aux faits des possibilités qui concernent ces travaux (Selgelid, 2009a,b ; Miller et Selgelid, 2007), on peut aussi considérer qu'il est particulièrement difficile pour lui de considérer une « mauvaise » façon d'utiliser les technologies et connaissances qu'il développe. En effet, on peut questionner s'il est dans l'intérêt d'un chercheur d'envisager et de déclarer une potentielle mauvaise utilisation de son travail et si ses intérêts (recherche constante de valorisation (personnelle et académique) et de financements) ne biaisent pas cette évaluation. Par exemple, il est difficilement envisageable de penser qu'un chercheur qui explore les possibles améliorations cognitives permises par la tDCS ne croit pas fortement dans le potentiel de sa technologie, et il est peu probable qu'il est intéressé à vulgariser sur les aspects néfastes de ce dispositif. Également, il semble difficile d'affirmer qu'un chercheur en neurosciences ait l'expertise d'évaluer le double-usage de son travail. En effet, concernant le double-usage, l'éducation des neuroscientifiques n'apparaît pas sans lacune (Walther, 2013). Une étude

réalisée par Walther démontre que si l'éducation en éthique est relativement présente dans les cursus neuroscientifiques, le double-usage de la recherche n'est abordé que dans 3% du total des cours évalués, et ce à travers différents pays (Walther, 2013). Ainsi, la valeur d'une auto-évaluation neuroscientifique du mésusage potentiel de la recherche mériterait une analyse plus approfondie.

Il est également à noter que la responsabilité qui incombe aux scientifiques doit-être tempérée. D'une part, il s'agit plus d'une responsabilité de la communauté scientifique au sens large que de celle individuelle du chercheur (Ehni, 2008), et celle-ci suppose de prévenir au dommage plus que d'y répondre (Kuhlau *et al.*, 2008). Ceci s'accorde avec les devoirs de divulgation du potentiel mésusage à d'autres autorités (Ehni, 2008 ; Kuhlau *et al.*, 2008), et va dans le sens de la discussion ouverte et transparente à laquelle certains auteurs font appel (Tennison et Moreno, 2012). S'il a été proposé que la révision par les pairs prenne en compte la notion de double usage et les risques de danger dans leur évaluation éthique (Miller et Selgelid, 2007; Selgelid, 2009a), où les chercheurs pourraient, un peu comme pour les conflits d'intérêts, signaler le potentiel double-usage de leurs recherches, cette déclaration est un point de départ essentiel mais ne nous apprend pas comment ils pourraient être gérés.

Ce dilemme ne concerne ainsi pas seulement les scientifiques mais également les décideurs pour qui il est nécessaire de mettre en place des encadrements afin de promouvoir les aspects bénéfiques et d'interdire les aspects néfastes (Selgelid, 2009). Ainsi, si les chercheurs en neurosciences se doivent de partager leur expertise et de participer à la discussion sur l'amélioration des individus non-malades par le biais de technologies neuroamélioratives, ses risques et sa désirabilité; les régulateurs ont également un rôle à jouer (Duecker, de Graaf et Sack, 2014). La délimitation du partage des responsabilités entre scientifiques et décideurs reste encore à déterminer, et peut-être difficile à gérer. Notamment, il existe une certaine asymétrie informationnelle entre savoirs des scientifiques et ceux des décideurs (Murdock et Koepsell, 2014), soit un déséquilibre non-négligeable des connaissances et du pouvoir entre ces parties prenantes. Chacun possède en effet une expertise particulière et pointue. Dans le cas du double-usage, le pouvoir de décision est dans les mains des décideurs qui ont pour objectif de promouvoir un certain intérêt public, et les connaissances sont, elles, dans celles des scientifiques, qui possèdent des intérêts différents (Murdock et Koepsell, 2014).

Ainsi, s'il est clair que les scientifiques ont une part de responsabilité dans le potentiel mésusage de leur recherche, et dans le développement d'usages neuroamélioratifs, il semble qu'ils ne puissent porter à eux seuls cette responsabilité, et d'autre part qu'ils n'aient pas aujourd'hui la formation et le temps nécessaire pour le faire. Cette responsabilité ne pouvant reposer sur leurs seules épaules, d'autres acteurs également impliqués dans le double-usage de la recherche en neurosciences et dans l'apparition d'un mésusage relié à la neuroamélioration, prennent le relais. Notamment, le public a certainement une part de responsabilité dans sa neuroamélioration, encore faut-il qu'il soit bien informé. Représentant une certaine idée du bien commun, il semble également important qu'il participe à la réflexion éthique sur le développement des applications neuroamélioratives (Fitz *et al.*, 2013 ; Dijkstra et Schuijff, 2015). Les professionnels concernés par les utilisations secondaires des données de recherche ne sont pas non plus à écarter, à savoir ici les entrepreneurs qui vendent des dispositifs tels que la tDCS.

Enfin, s'il est reconnu que le débat sur le double-usage nécessite plus d'experts en éthique (Selgelid, 2013), de même que la littérature en neuroéthique en appel aux scientifiques et éthiciens à travailler main dans la main (Trimper, Wolpe et Rommelfanger, 2014), le rôle des bioéthiciens est également à reconnaître. Notamment, leur évaluation du double-usage de la recherche et du mésusage potentiel (par le biais, par exemple, de comité d'éthique de la recherche déjà existants) pourrait être nécessaire et pertinente (Williams-Jones, Olivier et Smith, 2013). Leur position pourrait permettre de répondre au besoin d'un évaluateur extérieur au vu du manque d'expertise ou des conflits d'intérêts des différentes parties prenantes mentionnées précédemment. Ils pourraient également participer à la mise en place d'une éducation de la communauté scientifique sur les problématiques de double-usage (Williams-Jones, Olivier et Smith, 2013). De plus, chercheurs en éthique et en neuroéthique qui s'intéressent aux risques et enjeux de la neuroamélioration et à la façon de les encadrer, et mettent en avant un devoir de vulgarisation, de part leurs connaissances sur le sujet n'en ont pas moins un devoir de vulgarisation. Cette implication semble particulièrement nécessaire pour alerter des enjeux qui ne peuvent être pris en compte par des politiques publiques, comme les atteintes potentielles à l'identité individuelle ou aux limites de la nature humaine, leur expertise sur ces problématiques dépassant supposément celles des autres acteurs mentionnés.

Déterminer la part de responsabilité de chaque acteur est ainsi un point de départ essentiel pour réfléchir à comment venir encadrer les mésusages des recherches en générale (Williams-Jones, Olivier et Smith, 2013), et ceux de la recherche en neurosciences en particulier. Toutefois, le simple travail de recherche réalisé ici n'est pas suffisant pour la mise en place d'un encadrement systématique du double-usage de la recherche, au vu des limites qui incombent à tout travail conceptuel, et nécessite plus d'étude qui vont dans ce sens, afin de définir les responsabilités mentionnées, et de fournir des moyens adaptés pour permettre aux différents acteurs de les remplir.

Bibliographie

Adee, S., *Better Living Through Electrochemistry*. The Last Word On Nothing, 9 février 2012, consulté le 15 juin 2015 à l'adresse <http://www.lastwordonnothing.com/2012/02/09/better-living-through-electrochemistry/>

Aken, J. van., *When risk outweighs benefit*. *EMBO Reports*, 7(1S), S10-S13, 2006.

Allouche, S., *Des concepts de médecine d'amélioration et d'enrichissement à celui d'anthropotechnologie*. « Enrichissement » Éthique et philosophie de la médecine d'amélioration, 2009, (p. 65–78).

Alvarado, D. et Sussberg, J. *The immortalists*, 2015

AnthonyNlee, *How to Build a Simple tDCS Device of Your Own (that you can use)* YouTube, 2012, consulté le 15 avril 2015 à l'adresse : <https://www.youtube.com/watch?v=hgFWEBwT6BE> (a)

AnthonyNlee, *tDCS for Math Nerds*, YouTube, 2012, consulté le 15 avril 2015 à l'adresse : <https://www.youtube.com/watch?v=6V64IXFg9yc> (b)

Attiah, M. A., & Farah, M. J., *Minds, motherboards, and money: futurism and realism in the neuroethics of BCI technologies*. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 8, 2014.

Basford, J. R., *A historical perspective of the popular use of electric and magnetic therapy*. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 82(9), 2001, 1261–1269.

Bell, E., Mathieu, G., & Racine, E. *Preparing the ethical future of deep brain stimulation*. *Surgical neurology*, 72(6), 2009, 577–586.

Boisson de Chazournes, L., *Le principe de précaution: nature, contenu et limites*, 2002, consulté à l'adresse <http://archive-ouverte.unige.ch/unige:15028/ATTACHMENT01>
Bonneuil, C. et Joly, P.B., *Sciences, techniques et société*. Collection REPÈRES, 2013, 125 p.

Bourg, D., & Papaux, A., *Des limites du principe de précaution: OGM, transhumanisme et détermination collective des fins*. *Économie publique/Public economics*, (21), 2008.

Brem, A.-K., Fried, P. J., Horvath, J. C., Robertson, E. M., & Pascual-Leone, A., *Is neuroenhancement by noninvasive brain stimulation a net zero-sum proposition?* *NeuroImage*, 85, Part 3, 2014, 1058-1068.

Brunelin, J., Levasseur-Moreau, J., & Fecteau, S., *Is it ethical and safe to use non-invasive brain stimulation as a cognitive and motor enhancer device for military services? A reply to Sehm and Ragert*, *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 2013.

Brunoni, A. R., Nitsche, M. A., Bolognini, N., Bikson, M., Wagner, T., Merabet, L., ... Pascual-Leone, A., others., *Clinical research with transcranial direct current stimulation (tDCS): challenges and future directions*. *Brain stimulation*, 5(3), 2012, 175-195.

Buchanan, A., Brock, D. W., Daniels, N., & Wikler, D., *From Chance to Choice: Genetics and Justice*. Cambridge University Press, 2001.

Cabrera, L. Y., Evans, E. L., & Hamilton, R. H. *Ethics of the Electrified Mind: Defining Issues and Perspectives on the Principled Use of Brain Stimulation in Medical Research and Clinical Care*. *Brain Topography*, 2013, 27(1), 33-45.

Canli, T., Brandon, S., Casebeer, W., Crowley, P. J., DuRousseau, D., Greely, H. T., & Pascual-Leone, A. *Neuroethics and National Security*. *The American Journal of Bioethics*, 7(5), 2007, 3-13.

Caplan, A.L., *Straining their brains : why the case against enhancement is not persuasive*, *Cerebrum* 6, 2004 , 13-29

Cardoze, J. et Massini, R., *Des électrodes pour un meilleur cerveau*, dans D . Pujadas, 20H de France 2, 6 mai 2014, France télévision http://www.francetvinfo.fr/sciences-des-electrodes-pour-un-meilleur-cerveau_594023.html

Chatterjee, A., *The promise and predicament of cosmetic neurology*. *Journal of Medical Ethics*, 32(2), 2006, 110-113.

Clark, V. P., & Parasuraman, R., *Neuroenhancement: Enhancing brain and mind in health and in disease*. *NeuroImage*, 85, Part 3, 2014, 889-894.

Coffman, B. A., Clark, V. P., & Parasuraman, R., *Battery powered thought: Enhancement of attention, learning, and memory in healthy adults using transcranial direct current stimulation*. *NeuroImage*, 85, Part 3, 2014, 895-908.

Comité Consultatif National d'Éthique (CCNE) Avis 122 : *Recours aux techniques biomédicales en vue de « neuro-amélioration » chez la personne non malade : enjeux éthiques*, 2014, consulté à l'adresse <http://www.genethique.org/sites/default/files/ccne-avis-122-recours-aux-techniques-biomedicales-en-vue-de-neuro-amelioration-chez-la-personne-non.pdf>)

Courbet, D. & Benoit, D., *Neurosciences au service de la communication commerciale: manipulation et éthique. Une critique du neuromarketing*. *Etudes de communication*, 2013.

Dando, M., *The malign misuse of neuroscience*. *Disarmament Forum* (Vol. 1, p. 17–24), 2005.

Dando, M., *Advances in Neuroscience and the Biological and Toxin Weapons Convention*. *Biotechnology Research International*, 1-9, 2011.

Davis, N. J., & van Koningsbruggen, M. G., « *Non-invasive* » *brain stimulation is not non-invasive*. *Frontiers in systems neuroscience*, 7, 2013.

De Ridder, D., Vanneste, S., & Focquaert, F., *Outstanding questions concerning the regulation of cognitive enhancement devices*, *Journal of Law and the Biosciences*, 2014.

Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), official U.S. DARPA website, consulté le 03 juin 2015 à l'adresse : <http://www.darpa.mil>

Dijkstra, A. M., & Schuijff, M., *Public opinions about human enhancement can enhance the expert-only debate: A review study*, *Public Understanding of Science*, 2015.

Dimyan, M. A., & Cohen, L. G. (2010). Contribution of Transcranial Magnetic Stimulation to the Understanding of Functional Recovery Mechanisms After Stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 24(2), 125-135.

Dormael, J. V., *Mr. Nobody*, Pan-Européenne, 2010.

Dragolea, L. & Cofirlea, D., *Neuromarketing-Between influence and manipulation*. *Polish Journal Of Management Studies*, 3, 2011, 79-89.

Dresler, M., Sandberg, A., Ohla, K., Bublitz, C., Trenado, C., Mroczko-Wąsowicz, A., ... Repantis, D., *Non-pharmacological cognitive enhancement*. *Neuropharmacology*, 64, 2013, 529-543.

Dubljević, V., *Neurostimulation Devices for Cognitive Enhancement: Toward a Comprehensive Regulatory Framework*. *Neuroethics*, 1-12, 2014 .

Dubljević, V., Saigle, V., & Racine, E., *The Rising Tide of tDCS in the Media and Academic Literature*. *Neuron*, 82(4), 2014, 731-736.

Duecker, F., de Graaf, T. A., & Sack, A. T., *Thinking caps for everyone? The role of neuro-enhancement by non-invasive brain stimulation in neuroscience and beyond*. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 8, 2014.

Earp, B. D., Sandberg, A., Kahane, G., & Savulescu, J., *When is diminishment a form of enhancement? Rethinking the enhancement debate in biomedical ethics*. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 8, 12, 2014.

Ehni, H.-J., *Dual use and the ethical responsibility of scientists*. *Archivum Immunologiae et Therapiae Experimentalis*, 56(3), 2008, 147-152.

Farah, M. J., Illes, J., Cook-Deegan, R., Gardner, H., Kandel, E., King, P., ... Wolpe, P. R., *Neurocognitive enhancement: what can we do and what should we do?* *Nature Reviews Neuroscience*, 5(5), 2004, 421-425.

Farah, M. J., Smith, M. E., Ilieva, I., & Hamilton, R. H., *Cognitive enhancement*. Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science, 5(1), 2014, 95-103.

Fecteau, S., Boggio, P., Fregni, F., & Pascual-Leone, A. Modulation of Untruthful Responses with Non-Invasive Brain Stimulation. *Frontiers in Psychiatry*, 3, 2013.

Fitz, N. S., Nadler, R., Manogaran, P., Chong, E. W. J., & Reiner, P. B., *Public Attitudes Toward Cognitive Enhancement*. *Neuroethics*, 7(2), 2013, 173-188.

Fitz, N. S., & Reiner, P. B., *The challenge of crafting policy for do-it-yourself brain stimulation*. *Journal of Medical Ethics*, 2013.

Fitz, N. S., & Reiner, P. B., *Buttressing regulation of cognitive enhancement devices with principles of harm reduction*. *Journal of Law and the Biosciences*, 2014.

Foc.us, 2015, Foc.us neuro stimulation, consulté le 15 juin 2015 à l'adresse : <http://www.foc.us>

Food and Drug Administration (FDA) Executive summary, Prepared for the February 10, 2012 meeting of the Neurologic Devices Panel Petitions to Request Change in Classification for Cranial Electrotherapy Stimulators, 2012, 83 p.

Forlini, C. et Racine, E., *Stakeholder Perspectives and Reactions to "Academic" Cognitive Enhancement: Unsuspected Meaning of Ambivalence and Analogies*, 21 *Pub. Understanding Sci.*, 2012, 606-625.

Fréour, P., *Doper ses neurones à l'électricité*, Actualité, LeFigaro.fr – Santé, 2 mars 2015, Consulté 2 juillet 2015, à l'adresse <http://sante.lefigaro.fr/actualite/2015/03/02/23462-doper-ses-neurones-lelectricite>

Furber, S., Webinar : *Dual use and Neuroscience* , Danish Board of Technology Foundation, 7 janvier 2015.

Gandiga, P.C., Hummel, F.C. et Cohen, L.G., *Transcranial DC stimulation (tDCS): A tool for double-blind sham-controlled clinical studies in brain stimulation*, *Clinical Neurophysiology* 117, 2006, 845–850.

Gasser Jacques, « Quelle place pour les neurosciences dans les procédures judiciaires, en particulier dans l'expertise psychiatrique ? », *Scheizer archiv fur neurologie und psychiatrie*, 2010.

Glannon, W. *Neuromodulation, Agency and Autonomy*. *Brain Topography*, 27(1), 2014, 46-54.

Godard, O. 2006. *Le principe de précaution n'est pas un catastrophisme*, hal-archives ouvertes, CECO-1533.

Greely, H., Sahakian, B., Harris, J., Kessler, R. C., Gazzaniga, M., Campbell, P., et al. 2008. *Towards responsible use of cognitive-enhancing drugs by the healthy*. *Nature* 456, 2008, 702 – 705.

Grison, D., 2008. *Le principe de précaution et les normes*. Normes, prudence, précaution.

Hamilton, R., Messing, S., & Chatterjee, A., Rethinking the thinking cap Ethics of neural enhancement using noninvasive brain stimulation. *Neurology*, 76(2), 2011, 187-193.

He, B., Gao, S., Yuan, H., & Wolpaw, J. R., *Brain-Computer Interfaces*, Neural Engineering, 2013, p. 87-151.

Helmlinger, J., Quand Isaac Asimov théorisait la créativité pour la défense nationale, ActuaLitté, 24/10/2014, consulté le 23 juin 2015 à l'adresse : <https://www.actualitte.com/article/monde-edition/quand-isaac-asimov-theorisait-la-creativite-pour-la-defense-nationale/52064>

Hildt, E., *On the current neuroenhancement use of transcranial direct current stimulation by healthy individuals - a non-fictional snap-shot: commentary on Lapenta et al. 2014*. *Psychology & Neuroscience*, 7(2), 2014, 181-182.

Holtcamp, W., One Study, Two Paths: *The Challenge of Dual-Use Research*. *Environmental health perspectives*, 120(6), 2012

Horvath, J.C., Carter, O. et Forte, J.D., *Transcranial direct current stimulation : five important issues we aren't discussing (but probably should be)*, *Frontiers in systems neuroscience*, 2014

Hsu, W.-Y., Ku, Y., Zanto, T. P., & Gazzaley, A., *Effects of noninvasive brain stimulation on cognitive function in healthy aging and Alzheimer's disease: a systematic review and meta-analysis*. *Neurobiology of Aging*, 36(8), 2015.

Iuculano, T., & Kadosh, R. C., *The Mental Cost of Cognitive Enhancement*. *The Journal of Neuroscience*, 33(10), 2013, 4482-4486.

Kadosh, R. C., *Modulating and enhancing cognition using brain stimulation: Science and fiction*. *Journal of Cognitive Psychology*, 27(2), 2015, 141-163.

Kennedy, C.H., Moore, B.A., *Evolution of clinical military psychology ethics*. *Military Psychology*. 20(1):1-6, 2008.

King, M., Gavaghan, C., & McMillan, J., *Medical regulation of cognitive enhancement devices: some concerns*, *Journal of Law and the Biosciences*, 1(3), 2014, 334-339.

Kotchetkov, I. S., Hwang, B. Y., Appelboom, G., Kellner, C. P., & Connolly, E. S., *Brain-computer interfaces: military, neurosurgical, and ethical perspective*. *Neurosurgical Focus*, 28(5), 2010.

Kuhlau, F., Eriksson, S., Evers, K., & Höglund, A. T., *Taking Due Care: Moral Obligations in Dual Use Research*. *Bioethics*, 22(9), 2008, 477-487.

Kuhlau, F., Höglund, A. T., Evers, K., & Eriksson, S., *A Precautionary Principle for Dual Use Research in the Life Sciences*. *Bioethics*, 25(1), 2011.

Lapenta, O. M., Valasek, C. A., Brunoni, A. R., & Boggio, P. S. (2014). An ethical discussion of the use of transcranial direct current stimulation for cognitive enhancement in healthy individuals: a fictional case study. *Psychology & Neuroscience*, 7(2), 175-180.

Larrere C., 2003. *Le principe de précaution et ses critiques*. *Innovations*, no 18, p. 9-26.

Larrieu, P., *Regards éthiques sur les applications juridiques des neurosciences: Entre blouses blanches et robes noires*. *Revue interdisciplinaire d'études juridiques*, 68(1), 2010, 145.

Lecourt, D. (2007). *L'étrange fortune du principe de précaution*. Études de l'Observatoire du principe de précaution, 2007.

Le Dévédec, N., & Guis, F., *L'humain augmenté, un enjeu social*. *SociologieS*, 2013.

Legon, W., Sato, T. F., Opitz, A., Mueller, J., Barbour, A., Williams, A., & Tyler, W. J., *Transcranial focused ultrasound modulates the activity of primary somatosensory cortex in humans*. *Nature neuroscience*, 17(2), 2014, 322–329.

Legrenzi, P. & Umiltà, C., *Neuromania: On the limits of brain science*. Oxford University Press, 2011.

Levasseur-Moreau, J., Brunelin, J., & Fecteau, S., *Non-invasive brain stimulation can induce paradoxical facilitation. Are these neuroenhancements transferable and meaningful to security services?* *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 2013

Lo, Y. L., Fook-Chong, S., & Tan, E. K., *Increased cortical excitability in human deception*. *NeuroReport*, 14(7), 2003, 1021-1024.

LOI n° 2011-814 du 7 juillet 2011 relative à la bioéthique, Version consolidée au 09 juillet 2011, Titre VIII : *Neurosciences et imagerie cérébrale*, Article 45

Luber, B., *Neuroenhancement by noninvasive brain stimulation is not a net zero-sum proposition*. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 8, 2014.

Luber, B., Fisher, C., Appelbaum, P. S., Ploesser, M., & Lisanby, S. H., *Non-invasive brain stimulation in the detection of deception: Scientific challenges and ethical consequences*. *Behavioral Sciences & the Law*, 27(2), 2009, 191-208.

Luber, B., & Lisanby, S. H., *Enhancement of human cognitive performance using transcranial magnetic stimulation (TMS)*. *NeuroImage*, 85, Part 3, 2014, 961-970.

Sparrow, R., *Building a Better WarBot: Ethical issues in the design of unmanned systems for military applications*. *Science and Engineering Ethics*, 15(2), 2009, 169-187.

Madan, C. R., *Augmented memory: a survey of the approaches to remembering more*. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 8, 2014.

Marchant, G., & Gulley, L., *National Security Neuroscience and the Reverse Dual-Use Dilemma*. *AJOB Neuroscience*, 1(2), 20-22, 2010.

Maslen, H., Douglas, T., Kadosh, R. C., Levy, N., & Savulescu, J., *The regulation of cognitive enhancement devices: extending the medical model*. *Journal of Law and the Biosciences*, 1(1), 68-93, 2014a.

Maslen, H., Earp, B. D., Cohen Kadosh, R., & Savulescu, J., *Brain stimulation for treatment and enhancement in children: an ethical analysis*. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 2014b.

Mathieu, G., et Williams-Jones, B., *Examining the national regulatory environment of medical devices : Major issues in the risk-benefit assessment of high risk devices*, *McGill Journal of Law and Health*, sous presse a.

Mathieu, G., et Williams-Jones, B., *Post-market surveillance of high risk medical devices: a role for the precautionary principle*, *Healthcare Policy*, sous-presse b.

McHugh, P. R., *No veterinarian to« The naked ape » I*. *Cerebrum: the Dana forum on brain science* (Vol. 6, p. 19–24), 2003.

McKendrick, R., Parasuraman, R., & Ayaz, H., *Wearable functional near infrared spectroscopy (fNIRS) and transcranial direct current stimulation (tDCS): expanding vistas for neurocognitive augmentation*. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 9, 2015.

Menuz, V., *Réincarnation robotique: de la science-fiction à la science-réalité*, *NeoHumanitas*, 2012 (consulté à l'adresse <http://www.neohumanitas.org/reincarnation-robotique-de-la-science-fiction-a-la-science-realite/>)

Menuz, V., Hurlimann, T., & Godard, B. *Is Human Enhancement also a Personal Matter?* *Science and Engineering Ethics*, 19(1), 2011, 161-177.

Meynen, G., *Neurolaw: Neuroscience, Ethics, and Law. Review Essay*. *Ethical Theory and Moral Practice*, 17(4), 2014, 819-829.

Miller, S., & Selgelid, M. J., *Ethical and philosophical consideration of the dual-use dilemma in the biological sciences*. *Science and engineering ethics*, 13(4), 2007, 523-580.

- Minard, M., *Robert Spitzer et le diagnostic homosexualité du DSM-II*. Sud/Nord, 24(1), 2009.
- Minhas, P., Bikson, M., Woods, A. J., Rosen, A. R., & Kessler, S. K., *Transcranial Direct Current Stimulation in Pediatric Brain: A computational modeling study*. Conference proceedings : ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Conference, 2012, 859-862.
- Miniussi, C., Ruzzoli, M., & Walsh, V. *The mechanism of transcranial magnetic stimulation in cognition*. Cortex, 46(1), 2010, 128-130.
- Moreno, J. D., *Mind wars: Brain research and national defense*, Washington, DC: Dana Press, 2012.
- Murdock, K. L. E., & Koepsell, D., *Principals, agents, and the intersection between scientists and policy-makers: reflections on the H5N1 controversy*. Infectious Diseases, 2, 2014.
- Murphy, E. R., Illes, J., & Reiner, P. B., *Neuroethics of neuromarketing*. Journal of Consumer Behaviour, 7(4-5), 2008, 293–302.
- Nagel, S. K., *Enhancement for well-being is still ethically challenging*. Frontiers in Systems Neuroscience, 8, 2014.
- National Science Advisory Board for Biosecurity (NSABB), *Strategies to Educate Amateur Biologists and Scientists in Non-life Science Disciplines About Dual Use Research in the Life Sciences*, Report of the NSABB, juin 2011, consulté à l'adresse : http://osp.od.nih.gov/sites/default/files/resources/FinalNSABBReport-AmateurBiologist-NonlifeScientists_June-2011_0.pdf
- Nations Unies, 1992. *Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement*. Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement.
- Nature [s.a.], « *Silence of the neuroengineers* », Editorial, Nature, 423, 787, 2003, consulté à l'adresse : <http://www.nature.com/nature/journal/v423/n6942/full/423787b.html>
- Nielsen, J. B., & Cohen, L. G., *The olympic brain. Does corticospinal plasticity play a role in acquisition of skills required for high-performance sports?* The Journal of Physiology, 586(1), 2008, 65-70.
- Nitsche, M. A., Liebetanz, D., Lang, N., Antal, A., Tergau, F., & Paulus, W., *Safety criteria for transcranial direct current stimulation (tDCS) in humans*. Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology, 114(11),2003.
- Novakovic, V., Sher, L., Lapidus, K. A. B., Mindes, J., A.Golier, J., & Yehuda, R., *Brain stimulation in posttraumatic stress disorder*. European Journal of Psychotraumatology, 2, 2011.

Nowak, D. A., Bösl, K., Podubeckà, J., & Carey, J. R. , *Noninvasive brain stimulation and motor recovery after stroke*. Restorative neurology and neuroscience, 28(4), 2009, 531–544.

Obermayer, A., *Isaac Asimov Asks, “How Do People Get New Ideas?”*, Technology Review, 20 octobre 2014, <http://www.technologyreview.com/view/531911/isaac-asimov-asks-how-do-people-get-new-ideas/>

Olson, B., Soldz, S., Davis, M., *The ethics of interrogation and the American Psychological Association: A critique of policy and process*. Philosophy, Ethics, and Humanities in Medicine. 3(3), 2008.

Ouazzani Touhami, Z., Benlafkih, L., Jiddane, M., Cherrah, Y., El Malki, H. O., & Benomar, A., *Neuromarketing: lorsque neurosciences et marketing se rejoignent*. Revue Neurologique, 167(2), 2011, 135-140.

Pais-Vieira, M., Lebedev, M., Kunicki, C., Wang, J., and Nicolelis, M.A.L, *A brain- to-brain interface for real-times haring of sensorimotor information*. Sci.Rep. 3, 1319, 2013.

Paneri, B., Toshev, P., Khadka, N., Patel, V., Thomas, C., Tyler, W. J., Parra, L. et Bikson, M., *The tolerability of transcranial electrical stimulation used across extended periods in a naturalistic context by healthy individuals*, PeerJe PrePrint, 2015, consulté le 15 juin 2015 à l’adresse : <https://peerj.com/preprints/1097/>

Pearce, S., *DSM-5 and the rise of the diagnostic checklist*. Journal of Medical Ethics, 40(8), 2014, 515-516.

Pfister, W., *Transcendence*, Alcon Entertainment, 2014

Poreisz, C., Boros, K., Antal, A., & Paulus, W., *Safety aspects of transcranial direct current stimulation concerning healthy subjects and patients*. Brain Research Bulletin, 72(4–6), 2007, 208-214.

Prieur, M., & scientifique du CRIDEAU, D. 2006. *Le principe de précaution*. Les Xe Journées juridiques francochinoises sur le Droit de l’environnement.

Pustovrh, T., *The Neuroenhancement of Healthy Individuals Using tDCS: Some Ethical, Legal and Societal Aspects*. Interdisciplinary Description of Complex Systems, 12(4), 2014, 270-279.

Quednow, B. B., *Ethics of neuroenhancement: a phantom debate*. BioSocieties, 5(1), 2010, 153.

Racine, E., *Pragmatic Neuroethics: Improving Treatment and Understanding of the Mind-brain*. MIT Press, 2010.

- Racine, E., & Illes, J., *Responsabilités Neuroéthiques*. The Canadian Journal of Neurological Sciences, 33(3), 2006, 260-268.
- Racine, E., Rubio, T. M., Chandler, J., Forlini, C., & Lucke, J., *The value and pitfalls of speculation about science and technology in bioethics: the case of cognitive enhancement*. Medicine, Health Care and Philosophy, 17(3), 2014, 325-337.
- Rao, R. P., Stocco, A., Bryan, M., Sarma, D., Youngquist, T. M., Wu, J., & Prat, C. S., *A direct brain-to-brain interface in humans*, 2014.
- Resnik, D. B., *Neuroethics, national security and secrecy*. The American Journal of Bioethics, 7(5), 2007, 14-15.
- Resnik, D. B., *What is « dual use » research? A response to Miller and Selgelid*. Science and engineering ethics, 15(1), 2009, 3-5.
- Resnik, D. B., & Shamoo, A. E., *Bioterrorism and the responsible conduct of biomedical research*. Drug Development Research, 63(3), 2004, 121–133.
- Revoll, J., & Dando, M., *Life scientists and the need for a culture of responsibility: After education ... what?* Science and Public Policy, 35(1), 2008, 29-35.
- Schiltz K, Witzel J, Northoff G, et al., *Brain pathology in pedophilic offenders: Evidence of volume reduction in the right amygdala and related diencephalic structures*. Archives of General Psychiatry, 64(6), 2007, 737-746.
- Schleim, S., *Whose well-being? Common conceptions and misconceptions in the enhancement debate*. Frontiers in Systems Neuroscience, 8, 2014.
- Schutter, D. J. L. G., *Syncing your brain: electric currents to enhance cognition*. Trends in Cognitive Sciences, 2014.
- Sehm, B., & Ragert, P., (2013). *Why non-invasive brain stimulation should not be used in military and security services*. Frontiers in Human Neuroscience, 7, 2013.
- Selgelid, M. J., *Dual-Use Research Codes of Conduct: Lessons from the Life Sciences*. NanoEthics, 3(3), 2009a, 175-183.
- Selgelid, M. J., *Governance of dual-use research: an ethical dilemma*. Bulletin of the World Health Organization, 87(9), 2009b, 720-723.
- Selgelid, M. J., *Dual-Use Research*. The International Encyclopedia of Ethics, 2013.
- Tennison, M. N., & Moreno, J. D., *Neuroscience, Ethics, and National Security: The State of the Art*. PLoS Biology, 10(3), 2012.

Thync.com, 2015, Thync, How Good Feels, consulté le 23 décembre 2014 et le 15 juin 2015 à l'adresse : <http://www.thync.com>

Tracey, I., & Flower, R., *The warrior in the machine: neuroscience goes to war*. Nature Reviews Neuroscience, 2014.

Trimper, J. B., Wolpe, P. R., & Rommelfanger, K. S., *When « I » becomes « We »: ethical implications of emerging brain-to-brain interfacing technologies*. Frontiers in Neuroengineering, 7, 2014.

Tyler, W. J., Boasso, A. M., Charlesworth, J. D., Marlin, M. A., Aebersold, K., Aven, L., ... Pal, S. K., *Suppression of human psychophysiological and biochemical stress responses using high-frequency pulse-modulated transdermal electrical neurosignaling*. bioRxiv, 2015.

Vedder, A., & Klaming, L., *Human Enhancement for the Common Good—Using Neurotechnologies to Improve Eyewitness Memory*. AJOB Neuroscience, 1(3), 2010, 22-33.

Vincent, N. A., *Neurolaw and Direct Brain Interventions*. Criminal Law and Philosophy, 8(1), 2014, 43-50.

Walther, G., *Ethics in Neuroscience Curricula: A Survey of Australia, Canada, Germany, the UK, and the US*. Neuroethics, 6(2), 2013, 343-351.

Williams-Jones, B., Olivier, C., & Smith, E., *Governing 'dual-use' research in Canada: A policy review*. Science and Public Policy, 2013.

WindowsSoftwareDe, 2013, My tDCS device, YouTube, consulté le 15 avril 2015 à l'adresse : <https://www.youtube.com/watch?v=-C4AOq2boQk>

Wolpaw, J. R., *The BCI endeavor and the mission of this new journal*. Brain-Computer Interfaces, 1(1), 2014, 2-4

Yang, J., *I tried a brain-altering wearable that allows users to change their moods on demand*. Quartz, 12 janvier 2015, Consulté le 12 avril 2015 à l'adresse <http://qz.com/325070/this-brain-altering-wearable-could-end-our-dependence-on-drugs/>

Yoo, S.-S., Kim, H., Filandrianos, E., Taghados, S. J., & Park, S., *Non-Invasive Brain-to-Brain Interface (BBI): Establishing Functional Links between Two Brains*. PLoS ONE, 8(4), 2013.