

De l'être humain connecté à l'électronique incarnée

Synthèse de l'étude de TA-SWISS «Wenn Menschen ihren Körper mit Technik vernetzen. Grundlagen und Perspektiven nicht-medizinischer Bioelektronik»



TA-SWISS, Fondation pour l'évaluation des choix technologiques et centre de compétence des Académies suisses des sciences, entend mener une réflexion sur les répercussions – opportunités et risques – de l'utilisation de nouvelles technologies.

La synthèse se base sur une étude scientifique réalisée pour le compte de TA-SWISS par une équipe interdisciplinaire sous la direction de Dre Anne Eckhardt (risicare GmbH, Zollikerberg). Cette synthèse présente les principaux résultats et les recommandations de l'étude sous forme condensée et s'adresse à un large public.

Wenn Menschen ihren Körper mit Technik vernetzen. Grundlagen und Perspektiven nicht-medizinischer Bioelektronik

Anne Eckhardt, Andreas Abegg, Goran Seferovic, Samra Ibric und Julia Wolf

TA-SWISS, Fondation pour l'évaluation des choix technologiques (éd.)
vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, 2022.
ISBN 978-3-7281-4137-8

L'étude est également disponible en open access :
www.vdf.ch

La synthèse peut être téléchargée gratuitement :
www.ta-swiss.ch



La bioélectronique en bref	4
Ses opportunités ...	4
... ses risques ...	4
... et quelques recommandations	5
L'être humain sous tension	5
De la saisie de données à la thérapie ...	5
... de la thérapie à l'optimisation	6
Systèmes uni- ou bidirectionnels, en boucle ouverte ou fermée	6
Des impulsions sur les nerfs	7
Un cadran pour se connaître	7
Un patch pour améliorer ses performances	7
Des lentilles qui détectent la fatigue	8
Un soutien adapté aux besoins	8
Activer le nerf vague	8
La réalité augmentée	9
Un contrôle total	10
Le plastique devient organique	10
La vie a besoin de flexibilité	10
La bioélectronique de consommation : des promesses aux faits	12
Quelles exigences de précision pour les produits de consommation ?	12
La plasticité du cerveau	13
Des données sur la connaissance de soi	13
Bioélectronique invasive et risques chirurgicaux	13
Les nerds, pop stars du présent	14
Tirer le meilleur de soi-même	14
Où finit le moi et où commence la technique ?	14
Des béquilles électroniques pour combler les déficiences de l'être humain	14
De la vision idéaliste au calcul économique	16
Des utopistes qui recherchent le profit	16
La Suisse à la croisée de la bioélectronique médicale et non médicale	16
Responsabilité partagée entre l'homme et la technique ?	17
Quand la technique s'en mêle	17
Protection des données et de la personnalité	18
Réinterpréter la personnalité	18
Exploiter les potentiels sans occulter les risques	19
Ni engouement ni déni	19
Se référer aux substances psychoactives	19
Protéger particulièrement les adolescentes et adolescents	19
Rendre tangible un phénomène abstrait	19
Faire preuve d'ouverture en matière de réglementation	19
Renforcer les réseaux de compétences	20
Mettre en question l'utilisation chez les animaux	20

La bioélectronique en bref

La miniaturisation ainsi que de nouveaux matériaux à la fois souples et solides permettent de fabriquer de minuscules capteurs et appareils de mesure qui peuvent être portés près du corps ou même implantés. La médecine utilise depuis longtemps de tels systèmes bioélectroniques sous forme de stimulateurs cardiaques ou d'implants pour les malentendants. Mais l'on trouve également sur le marché toujours plus d'appareils et de gadgets non médicaux, qui permettent un échange direct entre le corps et la technique : à l'avenir, il devrait être possible de commander les ordinateurs, l'éclairage, les véhicules et les avions de manière intuitive, par des mouvements de la main, la contraction de certains muscles, voire par la simple pensée. Des systèmes bioélectroniques pourraient être utilisés également pour stimuler le cerveau et déployer ainsi un effet apaisant ou stimulant. Ce sont ces applications non directement médicales de la bioélectronique dont il est question ici.

Ses opportunités ...

Les systèmes bioélectroniques, également ceux de nature non médicale, peuvent influencer positivement le comportement en matière de santé. En effet, ils collectent quantité de données corporelles qui peuvent motiver les personnes équipées de cette technologie à faire plus d'exercice et à être plus attentives à leur alimentation. Ces données peuvent également signaler des risques de maladie à un stade précoce.

La bioélectronique facilite l'utilisation de nombreuses installations techniques et permet ainsi de gérer le quotidien plus efficacement.

S'immerger avec tous ses sens dans des réalités virtuelles, c'est possible grâce à la bioélectronique. Elle permet non seulement de vivre des activités ludiques plus intensément, mais offre également à des personnes en formation, initiale ou continue, la possibilité de s'exercer dans des situations proches de la réalité.

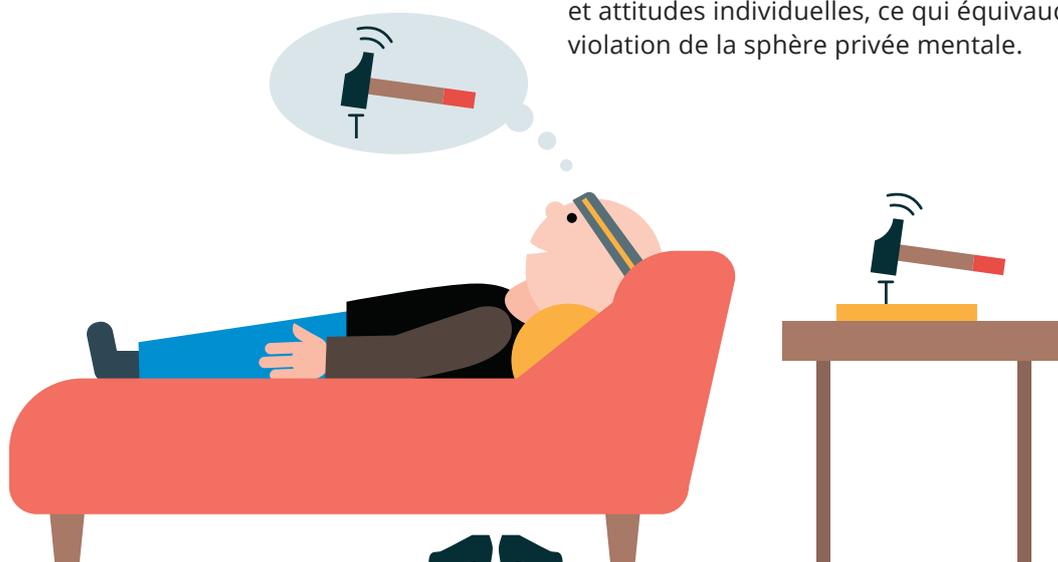
À l'avenir, des applications bioélectroniques agissant sur le cerveau pourraient avoir un effet tranquillisant ou stimulant similaire à celui de médicaments psychoactifs

... ses risques ...

Les effets bioélectroniques sur le cerveau mettent en question la compréhension traditionnelle de ce qui est propre à une personne. La modification des perceptions, des désirs ou des intentions d'un être humain par la stimulation cérébrale ébranle l'idée qu'il existe un noyau intime et continu de la personnalité.

La pression aux résultats peut inciter de jeunes personnes à accélérer leurs progrès d'apprentissage en recourant à la stimulation bioélectronique du cerveau. Or cet organe est encore malléable pendant la croissance et l'on ne sait pas exactement dans quelle mesure la modulation de fonctions nerveuses pourrait affecter son développement.

Les systèmes bioélectroniques collectent des données corporelles sensibles, qui en disent long sur notre état de santé et pourraient même un jour dévoiler des inclinations personnelles. En détectant des motifs de l'activité cérébrale, ils permettraient même de tirer des conclusions sur les intentions et attitudes individuelles, ce qui équivaudrait à une violation de la sphère privée mentale.



... et quelques recommandations

Partant de l'expérience acquise dans le domaine médical, il faudrait étudier quels effets la bioélectronique non médicale peut avoir sur l'organisme en développement des jeunes personnes, notamment sur leur cerveau. Les questions non résolues serviraient de base à des études plus approfondies.

Il convient également d'examiner quelles réglementations et directives relatives aux substances addictives peuvent être appliquées à la stimulation cérébrale par la bioélectronique et si des dispositions complémentaires sont éventuellement nécessaires.

Un autre point à clarifier est de savoir s'il faut développer un modèle de réglementation spécialement pour la bioélectronique non médicale. Le cas échéant, il devrait répondre aux exigences spéci-

fiques de cette catégorie de produits et promouvoir la capacité d'innovation de petites et moyennes entreprises.

Le rapport intitulé « Quand les hommes mettent leur corps en réseau avec la technique. Fondements et perspectives de la bioélectronique non médicale » a été réalisé par un groupe de projet sous la direction d'Anne Eckardt (risicare GmbH, Zollikerberg). Cette étude interdisciplinaire repose sur une recherche bibliographique approfondie, complétée par des entretiens avec des spécialistes de différentes disciplines scientifiques ou travaillant dans la pratique. Deux interviews de jeunes personnes ont permis d'intégrer le point de vue de cette tranche d'âge qui sera particulièrement confrontée aux futures innovations bioélectroniques.

L'être humain sous tension

Dans l'Égypte antique déjà, les raies et les anguilles électriques qui tuent leurs proies par des décharges faisaient l'étonnement des gens. En l'espace de plusieurs siècles, les scientifiques ont appris à se servir de l'électricité comme moyen de communication entre des composants techniques et les organes d'êtres vivants.

Pendant la seconde moitié du 18^e siècle, les scientifiques et le public étaient fascinés par l'électricité. Profitant de l'invention du premier condensateur simple – la bouteille de Leyde –, la haute bourgeoisie, pour se distraire, se soumettait à des chocs électriques et s'enthousiasmait à la vue d'éclairs produits artificiellement. Il s'avéra bientôt que l'électricité pouvait servir non seulement à s'amuser, mais aussi à sauver des vies. C'est ainsi qu'en Angleterre, la Royal Humane Society rapporte en 1794 le cas de Sophia Greenhill, âgée de trois ans, réanimée par des chocs électriques, alors qu'elle était tombée d'une fenêtre et avait été déclarée morte par le chirurgien de l'hôpital voisin et par un pharmacien : c'est le premier témoignage écrit du recours à un défibrillateur improvisé, bien sûr sans être déjà mentionné sous ce nom à l'époque.

Luigi Galvani a été le premier à reconnaître, à l'aide de nombreuses expériences – d'abord sur des gre-

nouilles, puis sur des animaux à sang chaud –, qu'un courant électrique appliqué de l'extérieur n'est pas seul à faire tressaillir les membres : les observations mettent clairement en évidence « que les animaux possèdent une électricité indépendante », relève ce médecin, anatomiste et naturaliste de Bologne dans son « Commentaire sur l'effet de l'électricité sur le mouvement musculaire », publié en latin en 1791. Dans ce traité, Galvani spéculait également que certaines maladies pourraient tenir à des déséquilibres du flux d'énergie et que l'électricité pourrait être utilisée à des fins thérapeutiques.

De la saisie de données à la thérapie ...

Dans les années 1930, des spécialistes de la médecine et de l'électrotechnique ont commencé à développer des appareils tels que des défibrillateurs et des stimulateurs cardiaques, destinés à rétablir le rythme régulier des contractions d'un muscle pompe vital dérégulé. Un stimulateur cardiaque complet a été implanté dans le corps d'un patient pour la première fois en 1958. Ces systèmes sont pilotés par les signaux émis par le cœur ; le corps et l'appareil communiquent donc mutuellement, de sorte que la fréquence de l'excitation est adaptée aux besoins immédiats.

Dès la fin des années 1960, l'implant cochléaire a permis de compenser dans certains cas une perte importante de l'ouïe. Cette prothèse stimule électriquement le nerf auditif et provoque ainsi des sensations auditives ; par un entraînement intensif, les personnes équipées de cet implant apprennent à associer ces nouveaux signaux à des motifs auditifs connus.

Vers la fin des années 1980, on a commencé à agir également sur le cerveau au moyen d'excitations électriques, d'abord chez des personnes souffrant de tremblements incontrôlés. Aujourd'hui, la stimulation cérébrale profonde est autorisée comme thérapie pour différentes affections, notamment des troubles moteurs tels que lesdits tremblements, la maladie de Parkinson, certaines formes d'épilepsie, les douleurs chroniques ou les dépressions. À cette fin, des électrodes sont implantées dans le cerveau et contrôlées par un stimulateur introduit sous la peau près de la clavicule.

... de la thérapie à l'optimisation

Au cours des dernières décennies, l'armée américaine, notamment, a mené des recherches dans le but d'influencer le cerveau au moyen du rayonnement électromagnétique émis par une source située en dehors du crâne, intégrée par exemple dans des écouteurs ou dans un casque. Cette armée mise en effet sur la stimulation magnétique transcrânienne pour améliorer la capacité de réaction et d'apprentissage de ses soldats ; la fatigue aussi devrait pouvoir être dissipée par voie électromagnétique. La médecine applique cette technique dans le traitement de personnes dépressives, ou encore de patients victimes d'une attaque cérébrale.

L'avancée de la numérisation fait croître l'intérêt pour une utilisation simple et intuitive des appareils électroniques : imaginons que les ordinateurs et les drones puissent être pilotés au feeling ou qu'une simple pensée suffise pour réduire l'éclairage et changer de programme musical ! De telles perspectives pourraient se concrétiser grâce à la bioélectronique – dans le langage des spécialistes, ce terme désigne l'utilisation, sur et dans des êtres vivants, de systèmes microélectroniques qui permettent à des organismes et à des appareils électrotechniques de communiquer directement entre eux.

Systèmes uni- ou bidirectionnels, en boucle ouverte ou fermée

Des composants électroniques peuvent interagir de différentes manières avec les êtres vivants qui en sont équipés. Les systèmes unidirectionnels agissent soit de l'organisme vers l'appareil, soit inversement, et servent le plus souvent à saisir des grandeurs biologiques ou à influencer certaines fonctions corporelles.

En revanche, les systèmes bidirectionnels assurent un échange réciproque entre l'organisme et la technique ; les exosquelettes, qui soutiennent des personnes dans des travaux physiques, en sont un exemple.

À part la direction des signaux, la manière de contrôler l'ensemble du système joue également un rôle. Les systèmes en boucle ouverte agissent indépendamment de l'effet obtenu ou du feed-back : les valeurs cibles sont définies au préalable et le système assure qu'elles soient atteintes. Le contrôle de tels systèmes incombe généralement à la personne qui s'en sert.

Au contraire, les systèmes en boucle fermée s'adaptent à l'organisme de manière autonome, sans contrôle extérieur. Tel est le cas des pompes à insuline implantées, qui surveillent en permanence la glycémie de diabétiques et ajustent au fur et à mesure l'administration de la substance. De tels systèmes ne sont actuellement utilisés qu'en médecine ; des variantes non médicales de ce type ne sont pas encore sur le marché.

L'étude de TA-SWISS résumée ici braque les projecteurs sur la bioélectronique non médicale. Actuellement, celle-ci est utilisée en premier lieu pour augmenter le bien-être et les performances et pour faciliter l'utilisation d'appareils techniques ; les applications pour le divertissement – par exemple l'immersion dans un environnement virtuel – n'ont pas encore une grande importance. Ce sont des appareils portables qui prédominent actuellement, notamment les bracelets de fitness, les montres intelligentes ou, dans une moindre mesure, les lunettes de réalité virtuelle.

Des impulsions sur les nerfs

Aujourd'hui déjà, ces auxiliaires accompagnent de nombreuses personnes dans leur vie quotidienne : les trackers de fitness qui outre les performances physiques évaluent également les phases de récupération et le sommeil, les montres intelligentes qui analysent une multitude de facteurs d'influence physiques, jusqu'aux combinaisons de travail qui mesurent l'effort corporel au moyen de capteurs et soutiennent qui les porte dans des activités physiquement éprouvantes. L'offre dans le domaine de la bioélectronique non médicale ne cesse de croître et de s'étendre à de nouvelles possibilités d'utilisation.

D'une application censée permettre de contrôler des « services » par la simple pensée à des produits pour gérer le stress et accroître l'attention, en passant par une série de jeux présentés comme libérant les enfants de leurs angoisses, il est long le catalogue de la boutique de NeuroSky – une des entreprises qui se prétendent capables de détecter l'état mental en temps réel. Les produits dont elle fait la publicité ont en commun de se servir d'un bandeau qui mesure l'activité électrique du cerveau et adapte l'effet de l'application en fonction des ondes cérébrales détectées.

Un cadran pour se connaître

Alors que les neurocasques décrits ci-dessus passent encore pour futuristes, les montres intelligentes et les trackers de fitness sous forme de bracelets, de bagues ou de pendentifs sont entrés depuis longtemps dans la vie quotidienne. Ces accessoires ne font pas que compter les pas, mais mesurent également le pouls et peuvent saisir une

multitude d'autres paramètres tels que la pression artérielle ou l'indice de masse grasse. Souvent, le logiciel d'évaluation donne des conseils pour un entraînement plus efficace ou renforce la motivation par des encouragements. Les produits de ce genre se classent dans la catégorie des systèmes bioélectroniques les plus simples (le « type 1 » des sept types définis dans la présente étude) : les signaux agissent dans une seule direction, de la personne qui porte l'appareil vers l'unité de mesure et d'analyse. La personne décide elle-même si et avec qui elle veut partager ses données.

Il y a déjà une gamme variée de tels produits sur le marché. Ils s'adressent à une clientèle diverse et sont en général faciles à utiliser. L'innovation progresse également en ce qui concerne les matériaux. Un exemple : différentes équipes font de la recherche sur des encres spéciales pour de futurs tatouages bioélectroniques.

La précision des capteurs ne cesse de croître et les personnes qui portent un système de type 1 ne courent pratiquement aucun risque pour leur santé. En revanche, des problèmes se posent quant à l'utilisation qui est faite de leurs données personnelles.

Un patch pour améliorer ses performances

Les systèmes bioélectroniques de type 2 vont un peu plus loin que la montre capable d'effectuer des mesures : ils influencent certains paramètres corporels. Un tel produit déjà sur le marché est le « FeelZing Energy Patch ». Il se place derrière l'oreille et a pour fonction, entre autres, de stimuler le



nerf vague, un grand nerf crânien qui participe à la régulation de la plupart des organes ; ce patch est censé induire un état de calme et d'attention chez la personne qui le porte. Les effets mis en avant par la publicité : une capacité de concentration accrue et un meilleur sommeil.

Le « FeelZing Energy Patch » fonctionne de manière unidirectionnelle, il stimule donc les personnes qui en sont dotées indépendamment de leur état momentané. Celles-ci déterminent elles-mêmes quand elles veulent utiliser ce système ; le cas échéant, elles en règlent également les principaux paramètres à leur gré. Le fait qu'ils soient aisés à contrôler et faciles à utiliser est un atout des systèmes de ce type. Ils pourraient remplacer des substances pharmacologiques actives telles que des stimulants ou des tranquillisants, qui entraînent souvent des effets secondaires. Une faiblesse des systèmes de type 2 est que leur efficacité n'est pas encore prouvée.

Des lentilles qui détectent la fatigue

Les systèmes bioélectroniques de type 3 servent à contrôler intuitivement des appareils externes. Les signaux agissent dans une seule direction, de l'organisme à l'ordinateur, au véhicule ou à l'avion, ou encore à l'éclairage. Au lieu d'utiliser un clavier ou une autre unité de commande, il suffit de contracter un muscle ou de cligner des yeux pour faire basculer la fenêtre ou vaincre le monstre d'un jeu vidéo, par exemple. Il existe déjà des vestes qui permettent de piloter des drones par des mouvements du corps – comme si l'on était soi-même un oiseau en vol. On pourrait également imaginer des lentilles qui remarquent, par exemple dans le mouvement des paupières, si la personne qui les porte est fatiguée et qui intensifient alors l'éclairage du poste de travail.

Un processus de contrôle est plus facile à apprendre s'il est intuitif que s'il nécessite une unité de commande classique. Or avec les systèmes bioélectroniques de type 3, précisément, les opérations de commande des appareils sont rapides et intuitives – c'est un grand avantage. En outre, de tels systèmes reconnaissent d'eux-mêmes s'il est opportun de changer la musique de fond ou d'augmenter l'intensité de l'éclairage ; cela évite des manipulations. Cependant, ils ne sont pas exempts de risques. Qui est responsable, par exemple, en cas de chute d'un drone piloté intuitivement ? Et des dépendances psychiques et physiques des utilisatrices et utilisateurs ne sont pas exclues à long terme. Ni le risque

que ces personnes deviennent trop dépendantes des fournisseurs de ces systèmes et de leurs services d'assistance. Un autre défi consiste à garantir la sécurité des données utilisées.

Un soutien adapté aux besoins

Développés à l'origine pour permettre à des paraplégiques de marcher à nouveau, les exosquelettes ont également fait leur entrée dans l'armée : ces supports munis d'articulations et de moteurs aident les soldats à porter de lourdes charges et augmentent leur endurance à la marche. Aujourd'hui, les exosquelettes sont également utilisés dans le monde du travail. Dans une grande entreprise automobile allemande par exemple, un exosquelette d'à peine deux kilos, qui revêt le haut du corps, soulage les épaules et les bras des ouvriers qui travaillent pendant des heures sur les chaînes d'assemblage des carrosseries.

Les exosquelettes font partie du 4e type de systèmes bioélectroniques. Ils agissent de manière bidirectionnelle et leur boucle de régulation est ouverte, c'est-à-dire que leur mode de fonctionnement s'adapte selon des paramètres prédéfinis. Un atout de ces systèmes est leur bonne contrôlabilité par les utilisatrices et utilisateurs ; en outre, la stimulation et le soutien qu'ils apportent tiennent compte du contexte et de la condition physique des personnes qui les portent. Toutefois, leurs répercussions sur l'image de l'être humain pourraient s'avérer problématiques : dans quelle mesure une personne qui réalise ses meilleures performances avec un soutien bioélectronique est-elle encore authentique ? Ces systèmes soulèvent également des questions de responsabilité dans le cas d'un accident se produisant sous leur influence.

Activer le nerf vague

Les applications de NeuroSky décrites au début de ce chapitre, utilisées en combinaison avec un casque, appartiennent au 5e type de bioélectronique définis dans l'étude. De tels systèmes fonctionnent en boucle fermée ; ils exercent un effet tranquillisant ou stimulant sur l'organisme, en réponse aux ondes cérébrales mesurées. De nombreuses applications de ce genre reposent sur la stimulation du nerf vague.

Ces applications bioélectroniques concernent en particulier la tête. En effet, elles peuvent alors inte-

ragir avec le cerveau par le biais de bandeaux, de casquettes ou de casques. Des écouteurs spéciaux et des lunettes intelligentes permettent également de collecter des données sensorielles par l'observation de l'ouïe et des yeux. Des casques de stimulation tels que ceux de NeuroSky, Emotiv et d'autres entreprises fonctionnent de manière bidirectionnelle en boucle fermée : l'appareil adapte son effet – stimulant ou tranquilisant, selon les besoins – aux ondes cérébrales mesurées.

Du fait qu'ils réagissent à des signaux corporels de l'organisme, les systèmes de type 5 pourraient offrir un bon confort d'utilisation. Ils pourraient, selon les besoins, aider les personnes qui les utilisent à se concentrer et à améliorer ainsi leurs performances ou à se détendre et à mieux récupérer. Mais pour le moment, il y a lieu de douter de leur acceptation par une large clientèle.

Comparés aux modèles de type 4, ceux de type 5 promettent un guidage plus nuancé et adapté plus précisément à l'organisme – au prix, toutefois, d'une perte d'autonomie et de contrôle de soi. À cela s'ajoute le risque qu'un tel système soit piraté et que la personne qui le porte puisse être ainsi manipulée, voire subir des dommages.

La réalité augmentée

Le type 6 élargit les perceptions sensorielles. Des recherches sont menées sur des lunettes ou des lentilles oculaires qui affichent des informations

supplémentaires sur les objets qui entrent dans le champ de vision. Des gants, combinaisons et casques munis de capteurs permettent même une immersion totale dans un environnement artificiel : l'homme qui porte ces accessoires se croit à la plage, entend les vagues, sent l'eau salée et voit les mouettes, la femme qui s'en est revêtue conduit une voiture de sport sur un parcours sinueux et ressent les vibrations et la force centrifuge. La force de ces systèmes réside dans le fait qu'ils tiennent compte des mouvements de la personne qui s'en sert. Actuellement, on les trouve surtout dans des jeux, mais ils pourraient également être utiles pour la visite virtuelle d'un lieu de vacances ou la visualisation d'un quartier d'habitation en projet. Il s'agit avant tout de systèmes portables, mais il existe également des exemples d'implants.

Il existe de nombreuses possibilités d'assurer la commande des systèmes de ce type ; elles offrent différents degrés de liberté aux utilisatrices et utilisateurs. L'attrait de tels systèmes tient à ce qu'ils proposent une expérience holistique de réalités virtuelles en prenant en compte les signaux des capteurs et les mouvements des utilisatrices et utilisateurs. Cependant, on sait encore peu de chose sur l'efficacité et la sécurité de ces dispositifs et le recours à des implants permettant de nouvelles expériences sensorielles comporte des risques pour la santé, ne serait-ce qu'en raison d'une possible infection liée à cette intervention chirurgicale. Des répercussions sur le psychisme et la perception de soi des personnes qui recourent à de tels systèmes ne peuvent pas non plus être exclues.

Un contrôle total

Les systèmes bioélectroniques du type 7 peuvent également être utilisés pour la surveillance. Des applications sont déjà prises en considération dans le domaine de l'assistance aux personnes âgées, par exemple pour localiser des malades atteints de démence qui se sont égarés. Des neurocasques permettant de contrôler l'attention des élèves à l'école sont également envisageables, de même que des gants bioélectroniques qui ne font pas que protéger les mains, mais qui observent aussi les performances individuelles sur une chaîne de production.

Un tel système porte atteinte à l'autonomie des personnes qui le portent, surtout si elles ne le font pas volontairement. En effet, elles ne peuvent l'influencer que de manière limitée, voire pas du tout. L'instance de surveillance est seule à en tirer tout l'avantage, car il lui est alors possible de contrôler efficacement un grand nombre de personnes. Si le système consiste en une puce implantée, on ne peut ni le perdre, ni s'en défaire.

Fusionner avec la technique

Le terme cyborg désigne un être hybride entre machine et être humain ; le musicien et artiste d'avant-garde Neil Harbisson a été le premier à se faire reconnaître officiellement comme cyborg – en l'occurrence par le gouvernement britannique. Né daltonien, Neil Harbisson ne voyait le monde qu'en nuances de gris. Pour compenser ce déficit, sa tête est munie d'un appareil grâce auquel il perçoit les couleurs comme des sons. Un capteur placé à côté de l'œil détecte la couleur observée ; une puce convertit les fréquences des couleurs en fréquences audibles que Harbisson peut alors interpréter. En outre, celui-ci s'est fait fixer sur le crâne une antenne qui permet de capter les rayonnements électromagnétiques et de les traduire en sons. En 2012, Harbisson a élargi la gamme des fréquences qu'il perçoit à l'infrarouge et à l'ultraviolet – il « voit » désormais plus que les humains avec leurs yeux.

Le plastique devient organique

Les propriétés électriques des cellules et des tissus d'un être vivant, de même que la composition chimique de la sueur ou des larmes, fournissent une multitude d'informations. Grâce à de nouveaux matériaux parfaitement adaptés à l'organisme, la peau et divers fluides corporels deviennent une importante source de données sur l'état physique d'une personne.

Tout produit bioélectrique se compose, pour l'essentiel, de trois éléments qui sont : un appareil de mesure, dit transducteur, qui transforme un signal d'entrée en une grandeur de sortie définie au préalable, des connexions électriques et des circuits électroniques. Chacun de ces composants peut être réalisé avec des matériaux très différents et selon divers procédés de fabrication. Cela permet de concevoir toute une palette d'appareils assurant des fonctions distinctes : les uns déterminent en premier lieu des flux d'ions dans et hors des cellules et l'état électrique de tissus, tandis que d'autres mesurent des gaz tels que l'oxygène ou le dioxyde de carbone,

et que d'autres encore évaluent la teneur en minéraux, en acide lactique et en acide urique dans la sueur.

Grâce à ces différents transducteurs, il est possible de traiter une grande variété de signaux – non seulement (bio)chimiques, acoustiques, optiques et électromagnétiques, mais aussi thermiques et mécaniques tels que l'accélération, la pression ou des débits.

La vie a besoin de flexibilité

Des problèmes spécifiques se présentent pour la connexion des différents composants d'un système bioélectronique. Car pour que ces derniers s'adaptent le plus confortablement possible au corps et à ses mouvements, ou puissent même être implantés, il faut éviter les câblages rigides. La conception de l'ensemble du système et le choix des matériaux posent également des exigences élevées : alors que

la communication biologique fait appel à des ions, les technologies actuelles de l'information recourent principalement aux électrons. Les circuits et appareils électroniques doivent être protégés de l'humidité afin d'éviter qu'ils se détériorent ; or le corps des êtres vivants est constitué en grande partie d'eau et dégage de l'humidité.

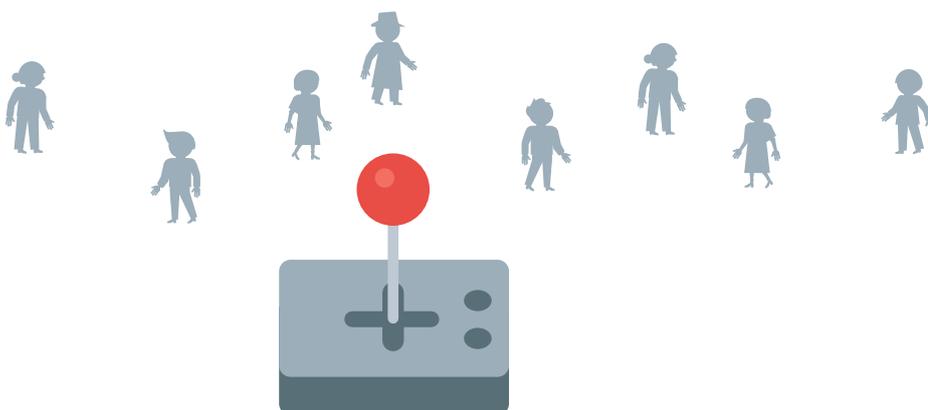
Aujourd'hui, des recherches faisant intervenir de nombreuses disciplines s'efforcent d'éliminer les incompatibilités entre les systèmes bioélectroniques et leurs tissus cibles. Et elles enregistrent des succès : des écrans plus ou moins flexibles sont maintenant disponibles et des systèmes bioélectroniques miniaturisés à l'extrême sont intégrés dans des couches de matériaux souples ou mous, qui sont de surcroît lavables et étanches.

Les hydrogels – des matières plastiques insolubles dans l'eau, mais capables de lier ce liquide – connaissent un développement porteur d'avenir. De telles substances présentent une bonne compatibilité avec les organismes vivants ; elles sont utilisées, par exemple, pour des lentilles de contact ou des implants déformables. Elles pourraient également servir à envelopper des composants bioélectroniques, voire être utilisées comme matériaux de systèmes électroniques ; les premiers prototypes existent déjà et laissent entrevoir des progrès prometteurs.

Le recours à des matériaux minces, mous et flexibles, et une émission sans fil des signaux, améliorent le confort de port des applications bioélectroniques, ce qui devrait promouvoir la popularisation de multiples gadgets basés sur cette technologie.

Des insectes télécommandés

En avril 2015, une équipe de recherche de l'université A&M du Texas a publié un article scientifique qui a même été mentionné dans la presse grand public. Elle avait réussi à équiper un cafard d'électrodes, d'une carte de circuit imprimé et d'une batterie, afin de le commander par des impulsions électriques. Celles-ci stimulaient les ganglions nerveux qui coordonnent les mouvements de l'insecte. Les scientifiques sont ainsi parvenus à télécommander ses pattes et à le faire marcher dans toutes les directions souhaitées ; l'insecte prenait une courbe d'autant plus serrée que la fréquence des impulsions électriques était plus élevée. Les scientifiques ont relevé que mis à part son intérêt scientifique, leur travail pourrait avoir une utilité pour la société. Les cafards télécommandés pourraient aider à trouver des personnes ensevelies après un tremblement de terre, car ces animaux peuvent s'introduire dans des interstices très étroits. Aujourd'hui, l'utilisation bioélectronique de cafards fait même l'objet de kits proposés sur Internet ; des tutoriels détaillés sur la manière de procéder sont disponibles sur YouTube. Entre-temps, des rats ont également été télécommandés par l'intermédiaire d'un implant cérébral bioélectronique, dans l'espoir de s'en servir lors d'opérations de sauvetage de personnes ensevelies ou lors d'interventions de déminage. Toutefois, des voix critiques s'élèvent contre cette instrumentalisation des animaux. Elles mettent en doute que le contrôle bioélectronique du comportement soit compatible avec la dignité de la créature, comme l'exige par exemple la Constitution fédérale suisse. Une telle manipulation des animaux se justifie tout au plus s'il existe un intérêt digne de protection, notamment si des vies humaines peuvent être sauvées. La loi suisse sur la protection des animaux interdirait en tout cas la télécommande d'un rat pour le simple plaisir. Mais elle n'inclut pas les insectes, leur manipulation bioélectronique n'est donc pas punissable dans notre pays.



La bioélectronique de consommation : des promesses aux faits

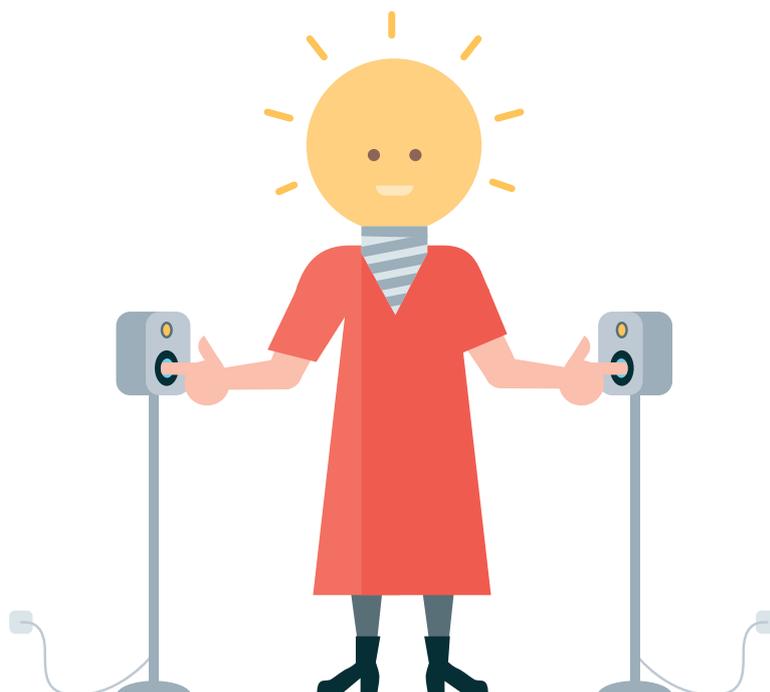
Les produits médicaux ne peuvent être mis sur le marché qu'après avoir subi des tests approfondis prouvant à la fois leur efficacité et leur sécurité. Les systèmes bioélectroniques destinés aux activités sportives et au divertissement exploitent certes des connaissances acquises par les sciences de la vie et par la recherche médicale, mais des examens rigoureux ne leur sont pas imposés.

Les appareils bioélectroniques à usage médical servent de précurseurs à la bioélectronique non médicale. Un exemple : la stimulation magnétique transcrânienne permet de lutter contre des dépressions sévères, c'est scientifiquement prouvé, tout comme son effet positif contre certains troubles du développement du système nerveux de jeunes personnes. La recherche fournit ainsi des pistes pour une utilisation efficace de la bioélectronique à des fins non médicales : la stimulation magnétique transcrânienne – pour reprendre cet exemple – se présente également comme moyen d'amener le cerveau à effectuer certaines tâches plus rapidement et avec plus de précision.

Quelles exigences de précision pour les produits de consommation ?

Les entreprises qui s'adressent directement à la clientèle avec des propositions de produits de consommation bioélectroniques fondent leur publicité sur des arguments d'apparence scientifique. Mais rares sont celles qui ont réalisé des études sur leurs produits ; en outre, elles se réfèrent le plus souvent à des situations de laboratoire qui conduisent à des résultats difficilement transposables à la vie quotidienne.

De nombreuses entreprises promettent que grâce au neurofeedback, leurs produits augmentent l'attention et la concentration ou réduisent le stress et aident à récupérer. Elles laissent également entrevoir des améliorations des performances cognitives et sportives, de la mémoire et de la capacité d'apprentissage. Toutefois, les produits de consommation ne sont pas conçus pour mesurer l'activité cérébrale avec la même précision et la même fiabilité que les appareils médicaux. À ceci s'ajoute que seules quelques entreprises ont testé scientifiquement l'efficacité de leurs produits et que si elles



l'ont fait, elles n'ont interprété que sommairement les données collectées. Il manque donc la preuve que des profils d'activité peuvent être effectivement identifiés dans le cerveau à partir des ondes cérébrales détectées – ce qui serait une condition pour tenir les promesses faites dans la publicité. Une enquête menée auprès de plus de 300 personnes ayant acheté un système de stimulation transcrânienne a révélé que 40 % d'entre elles n'utilisaient pas durablement ces produits, notamment en raison de l'absence d'effets.

Les réactions de clientes et de clients qui ont acheté un neurocasque sur Amazon sont révélatrices : outre l'absence d'un mode d'emploi ou le fait qu'il n'est disponible qu'en anglais et la pression parfois douloureuse sur la peau, ces personnes déplorent les fréquentes interruptions de la communication entre le casque et l'application d'évaluation sur le téléphone portable et la soif de données de cette dernière.

La plasticité du cerveau

Même si les effets des neurocasques sont plus modestes que ne le prétend la publicité, cela ne signifie pas qu'ils sont inoffensifs. En premier lieu, il faut compter avec de possibles sensations désagréables dans la région de la tête où s'exerce la stimulation. Et il est connu qu'un séjour prolongé – en l'occurrence de plus d'une heure – dans l'espace virtuel peut entraîner des troubles. Les malaises qui caractérisent ce qu'on appelle la cybercinétose sont des vertiges, des nausées pouvant aller jusqu'à des vomissements, des maux de tête, des problèmes touchant à l'acuité visuelle, à la reconnaissance des objets et à la vision des couleurs ; ces troubles sont généralement passagers. L'interaction entre la perception et les mouvements – la sensorimotricité – peut également être temporairement perturbée. Les femmes enceintes, ainsi que les personnes sujettes aux migraines ou à des troubles anxieux sont particulièrement exposées au risque de développer une cybercinétose.

Pour mieux réussir à l'école, les jeunes pourraient être tentés de recourir à des produits bioélectroniques ressemblant au patch fictif stimulateur de l'attention décrit dans l'encadré de la page 15. Or précisément chez les jeunes – à un âge où le système nerveux se développe et où le cerveau est donc malléable –, les impacts de la stimulation sur cet organe n'ont guère été étudiés. De plus, les os du crâne des jeunes sont plus minces que ceux des personnes âgées, de sorte que la stimulation pourrait agir plus profondément dans le cerveau.

Les enfants, ainsi que les adolescentes et adolescents de neuf à quatorze ans, constituent un public cible important pour les jeux en réalité augmentée ou virtuelle. Des études récentes indiquent que les enfants ont de la peine à rester en équilibre et à contrôler leur posture quand ils sont immergés dans un monde virtuel riche en stimulations visuelles. Les spécialistes s'interrogent également sur l'impact des nouvelles technologies interactives sur la construction identitaire des plus jeunes, ainsi que sur leur autonomie et leur capacité d'action.

Des données sur la connaissance de soi

Il n'y a pas lieu de craindre que des gadgets largement répandus, portés sous forme de bracelets ou de médaillons pour surveiller l'activité physique, aient des effets néfastes sur la santé. Ils peuvent au contraire favoriser une hygiène de vie saine en motivant à faire plus de sport.

Cependant, des risques se posent quant à l'utilisation qui est faite des données collectées. Si elles sont partagées sur les plateformes des prestataires, il est possible qu'elles soient exploitées par des tiers et détournées à d'autres fins. Il y a lieu d'être particulièrement réservé dans le cas de données neurologiques : celles-ci pourraient être utilisées pour obtenir des indications sur des caractéristiques personnelles telles que l'orientation sexuelle ou l'humeur. En outre, on ne peut pas écarter le risque de manipulation du comportement des personnes par le biais de la neurostimulation.

Bioélectronique invasive et risques chirurgicaux

Actuellement, la plupart des systèmes bioélectroniques sont portés près du corps. Mais à l'avenir, les implants bioélectroniques pourraient prendre plus d'importance. Aux risques de la manipulation des données personnelles et des effets secondaires de la stimulation électronique s'ajouteraient ceux liés à une intervention chirurgicale : l'implantation d'un corps étranger comporte toujours un risque d'infection, de cicatrices ou d'effets indésirables d'adaptation du système nerveux. Des réactions de défense de l'organisme peuvent également se produire et entraver le bon fonctionnement de l'implant.

Les nerds, pop stars du présent

Lunettes et montre intelligentes, bracelet de fitness ou même tatouage bioélectronique : il existe aujourd'hui toute une palette de wearables qui répondent à différents besoins et sont en vogue auprès de leurs publics cibles respectifs. Mais on ne sait pas au juste comment la perception élargie par la bioélectronique se répercute à la longue sur l'image que l'on a de soi.

Il y a quelques années encore, les personnes dont le regard était constamment fixé sur leur téléphone portable ou un autre gadget technique étaient facilement considérées comme des nerds. Entre-temps, le fait de consulter régulièrement un tracker de fitness ou une application mobile sportive est passé dans les mœurs. En 2020, environ 10% de la population suisse possédait un bracelet de fitness, une montre intelligente ou un appareil similaire, tendance croissante : la même année, les ventes de wearables ont grimpé de 7% dans notre pays. À cela s'ajoutent les téléphones portables qui permettent également de saisir des données corporelles grâce à des applications spécifiques ; en Suisse, plus de 90% des adultes disposent d'un smartphone.

Tirer le meilleur de soi-même

Dans notre société axée sur la performance il est de bon ton de donner le meilleur de soi-même. La surveillance permanente des performances et de la condition physiques est en phase avec deux tendances sociales : l'aspiration à un style de vie sain et la pension à l'optimisation de soi.

Par ailleurs, le recours aux appareils bioélectroniques est encouragé par la démocratisation de la science. Grâce aux mouvements de science participative, la crainte de se confronter à la science disparaît et l'utilisation de données devient familière à de plus en plus de personnes. De nouvelles communautés se forment, dont les membres s'entraident pour collecter des données et les interpréter. Des fournisseurs de wearables, notamment, mettent des plateformes à disposition pour cette forme d'échange qui répond à leurs intérêts commerciaux : les données des utilisatrices et utilisateurs leur permettent d'optimiser leurs produits et de mieux les commercialiser. La transformation numérique qui imprègne tout notre quotidien soutient également l'avancée de la bioélectronique.

Enfin, les découvertes de la recherche sur le cerveau et leur diffusion dans des revues de vulgarisation scientifique et dans la littérature de science-fiction amènent à percevoir le cerveau comme une ressource malléable et optimisable. C'est pourquoi des produits qui promettent d'augmenter les performances cérébrales sont plutôt bien accueillis.

Où finit le moi et où commence la technique ?

L'utilisation d'appareils bioélectroniques n'est pas sans conséquences sur la perception – y compris celle de son propre moi. Par exemple, quelqu'un à qui un implant électromagnétique permettrait de voir l'ultraviolet ou l'infrarouge – donc des couleurs en dehors du spectre normal de la perception sensorielle – vivrait dans un monde à part. L'immersion dans des mondes virtuels, peuplés de célébrités et d'influenceurs au look retouché, donc parfait, qui se présentent dans un environnement luxueux pourrait également altérer la perception de soi et les caractères de l'identité personnelle ; c'est en tout cas un point du débat, notamment en ce qui concerne la jeunesse.

Aujourd'hui, la plupart des wearables sont de petits appareils qui se portent près du corps et collectent des données physiologiques, ce qui soulève des questions de protection des données et de contrôle de l'appareil. Le recours à cette technologie sera plus facilement accepté si l'utilisatrice ou l'utilisateur a la maîtrise et le contrôle de ses données et de l'appareil. Des problèmes spécifiques se posent si des applications bioélectroniques interagissent avec le cerveau. Car cet organe est considéré – du moins dans notre culture – comme le siège de la personnalité, et donc de l'intelligence, de la capacité de jugement, de l'identité personnelle et de l'autonomie d'un être humain.

Des béquilles électroniques pour combler les déficiences de l'être humain

Le cas de figure d'un être humain « incomplet » qui remédie à ses limites grâce à des aides techniques implantées trouve son expression dans de nombreux romans et films et est popularisé par le biais des médias de masse et d'Internet. Plusieurs entreprises

font de grands efforts pour le mettre en œuvre de manière rentable. Les concepts envisagés vont des organes sensoriels supplémentaires à la mémoire « décentralisée » : des prothèses, des implants ou des systèmes commandés par une application deviennent partie intégrante de l'appareil cognitif humain ; les informations ne sont alors pas stockées exclusivement dans le cerveau, mais confiées en partie à des dispositifs techniques auxiliaires ou à une plateforme sur Internet. Ainsi non seulement les systèmes technique et biologique commencent à fusionner, mais la question se pose également du rôle futur de notre cerveau dans l'élaboration de l'image de soi et dans les échanges interpersonnels.

Alors que certains spécialistes sont favorables à l'utilisation de « prothèses » bioélectroniques, qu'ils considèrent comme un moyen de renforcer l'autonomie d'un individu et de remédier à ses insuffisances, d'autres craignent qu'elle puisse restreindre son autodétermination. Des personnes pourraient subir des pressions pour qu'elles recourent à la bioélectronique pour améliorer leurs performances ; elles risquent également de consentir sans le vouloir ou par ignorance à l'évaluation de leurs données neurologiques ; et l'accès à des informations sans passer par la mémoire, celles-ci ayant été transférées dans un système bioélectronique, pourrait favoriser la paresse intellectuelle. L'utilisation de moyens bioélectroniques est donc à double tranchant : elle peut être aussi bien une chance qu'un danger pour l'autonomie de l'individu.

Du point de vue de l'éthique, une question importante est de savoir si les aides bioélectroniques sont équitablement réparties dans la société ; si l'utilisation de gadgets améliorant les performances était réservée à une petite partie de la population, cela irait à l'encontre du principe d'équité d'accès. Il ne faudrait pas non plus discriminer les personnes qui renoncent volontairement à utiliser des aides bioélectroniques pour remédier à des insuffisances physiques ou qui n'ont pas les moyens de s'offrir un tel appareil.

L'application fictive « FocusUself » – une expérience de pensée

FocusUself est un stimulateur de l'attention que l'on peut se procurer dans les pharmacies ou les magasins d'électronique. Comme son utilisation n'est autorisée qu'aux personnes de 25 ans et plus, il faut, lors de l'achat, prouver son âge et signer une déclaration. FocusUself se compose de trois éléments : un patch réutilisable à appliquer sur la tête ; une unité d'évaluation et de commande qui fonctionne par le biais d'une application mobile ; et une plateforme sur Internet, où les données reçues sont enregistrées et évaluées. La commande et l'évaluation automatiques prévues par les réglages d'usine peuvent être désactivées. Le stimulateur sert à améliorer les performances ou à les maintenir. Mais il est aussi souvent utilisé pour vivre une expérience plus intense lors de sorties, de voyages ou de jeux. Des effets secondaires tels que vertiges, irritabilité accrue, perception modifiée ou sentiments d'anxiété pendant la période d'utilisation sont avérés et sont mentionnés dans la description du produit. Dans certaines branches, par exemple dans les sciences ou d'autres professions créatives, il existe une forte pression sociale pour utiliser FocusUself. Certains parents utilisent ce patch pour encourager leurs enfants à faire leurs devoirs scolaires. Et des adolescentes et adolescents se le procurent sur le marché gris afin d'accroître leurs performances à l'école et dans les jeux.

Cet exemple fictif montre à quel point il est difficile de limiter l'utilisation de gadgets techniques ; le fait de fixer une limite d'âge et de la contrôler ne garantit pas qu'un appareil ne sera utilisé que par un cercle de personnes bien défini. Un aspect particulièrement important du point de vue éthique est de savoir si l'utilisation fréquente de FocusUself a un impact sur les souhaits d'une personne, sur ses préférences et, partant, sur ses relations sociales. Si tel était le cas, et si ces modifications persistaient durablement même après le retrait du patch, FocusUself entraînerait une atteinte qualitativement nouvelle à l'autonomie personnelle ; la continuité individuelle aussi, en tant que noyau essentiel de la personnalité, serait éventuellement menacée.

De la vision idéaliste au calcul économique

La recherche médicale profite au développement des systèmes bioélectroniques. Certaines entreprises du secteur médical commercialisent elles aussi des appareils et applications bioélectroniques relevant du domaine non médical. Et des visionnaires de la scène tech contribuent également à l'innovation dans ce domaine.

En Suisse, plusieurs fonds investissent dans des innovations pharmaceutiques et médicales prometteuses ; ils mettent jusqu'à dix millions à la disposition d'entreprises émergentes. La situation de la bioélectronique est bonne dans notre pays. Les universités et hautes écoles suisses sont en excellente position tant dans les sciences de la vie qu'en informatique – y compris pour le développement de jeux. Plusieurs programmes et projets nationaux de recherche ont des liens avec la bioélectronique, l'accent étant mis toutefois sur les applications médicales.

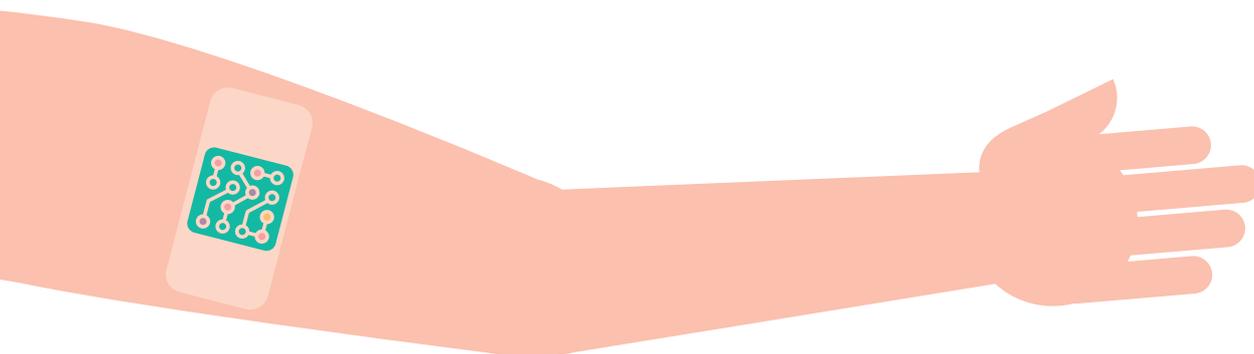
Des utopistes qui recherchent le profit

Alors que les programmes de recherche publics se concentrent sur les applications médicales, il en va tout autrement dans le secteur privé. Elon Musk, connu avant tout pour ses activités visionnaires dans la mobilité terrestre et spatiale, a engagé jusqu'en 2019 au total 158 millions de dollars US dans l'entreprise Neuralink qui développe entre autres des implants bioélectroniques pour le cerveau. Des objectifs médicaux ont la priorité à court terme, mais à plus longue échéance des neuroprothèses devraient également servir à augmenter la capacité du cerveau.

Meta, l'entreprise de Mark Zuckerberg, est un autre poids lourd international. Elle ne se borne pas à mettre au point de nouvelles interfaces home-ordinateur, mais développe également un « métavers » – une réalité augmentée qui associe des éléments du monde réel avec des contenus fictifs et qui est censée jouer un jour un rôle important dans la vie quotidienne des gens. Le métavers est développé dans le Reality Lab de Meta ; jusqu'à présent, Zuckerberg a investi quelque dix milliards de dollars US dans ce projet d'univers artificiel.

La Suisse à la croisée de la bioélectronique médicale et non médicale

En Suisse, la start-up MindMaze travaille à des systèmes de neuroréhabilitation pouvant être utilisés en clinique et pour la poursuite de la rééducation à domicile. Fondée en 2012, elle bénéficie d'une aide au démarrage de la fondation Gebert Rűf. Le système de MindMaze utilise des données obtenues grâce à des mesures des ondes cérébrales et au moyen de prises de vues vidéo et de capteurs qui enregistrent le déroulement des mouvements. Ces données sont intégrées dans un logiciel d'entraînement, qui se réfère largement à des réalités virtuelles. Depuis peu, MindMaze mène également des recherches sur le traitement de la douleur et a l'intention de proposer des produits directement aux consommatrices et consommateurs. En 2015 déjà, MindMaze avait présenté pour la première fois une application pour les jeux informatiques, et en 2016, l'entreprise a atteint le statut de licorne, c'est-à-dire de start-up valorisée à plus d'un milliard de dollars US.



Aleva Neurotherapeutics est également à classer parmi les sociétés indigènes, car ses principaux investisseurs sont en Suisse. Jusqu'à présent, ils ont injecté 52 millions de dollars US dans cette entreprise qui travaille notamment sur la stimulation cérébrale profonde pour les personnes atteintes de la maladie de Parkinson et de tremblements. De son côté, Idun Technologies, un spin-off de l'EPF de Zurich, développe un casque qui capte à l'intérieur de l'oreille des données sur l'activité cérébrale et saisit les mouvements des muscles des yeux et des mâchoires ; l'accent est mis sur l'enregistrement et l'interprétation des données, un champ d'application possible est la surveillance des personnes souffrant d'épilepsie. Cette entreprise bénéficie du soutien – financier notamment – de Sony. Autres entreprises

actives en Suisse, ou qui ont même leur siège dans ce pays, Dynavision, Neurosoft Bioelectronics et Onward Medical ont elles aussi des produits bioélectroniques dans leur portefeuille. Elles travaillent en premier lieu à des applications médicales.

La bioélectronique a également un potentiel dans l'industrie textile, où elle permettrait d'ajouter des fonctionnalités intéressantes à des produits spéciaux, notamment dans les domaines du sport et de la protection. Toutefois, la collaboration entre l'informatique et le secteur textile ne s'est pas encore bien établie. Ce qui tient aussi au fait qu'en Suisse, le développement des produits non médicaux est gêné par des structures et une réglementation axées en premier lieu sur la bioélectronique médicale.

Responsabilité partagée entre l'homme et la technique ?

De l'avis de Pic de la Mirandole, philosophe italien de la Renaissance, le trait spécifique de l'être humain réside dans son libre arbitre. Mais celui-ci est-il encore intact lorsque l'organe de la pensée est soumis à une stimulation électromagnétique ? L'influence de la bioélectronique sur le cerveau pourrait modifier notre conception de ce qui fait la nature de l'homme, non sans conséquences sur sa manière d'agir et ce qui en découle au niveau du droit.

Nous ne pouvons être reconnus coupables – d'un méfait ou d'un préjudice – que si nous sommes responsables de nos actes. Pour cela, nous devons être capables d'exercer notre libre arbitre et de porter un jugement. Mais qu'en est-il de ces capacités lorsqu'une stimulation bioélectronique de notre cerveau influence nos impressions sensorielles et nos désirs ? Si quelqu'un augmente ses aptitudes au moyen de la neurostimulation, il n'est pas exclu que cette personne poursuive d'autres objectifs et exprime une volonté différente que dans un état « normal », non altéré. Dans un tel cas de figure, la bioélectronique nous entraîne en partie sur un terrain juridiquement controversé, car nous touchons ici à la question de savoir ce qui fait le propre d'une personne.

Quand la technique s'en mêle

Le Code civil mentionne à l'article 16 différents états qui altèrent la « faculté d'agir raisonnablement » : la déficience mentale, l'ivresse, les troubles psychiques ou le jeune âge. La stimulation bioélectronique du cerveau peut entraîner des effets comparables à ceux des états mentionnés dans la loi et réduire ainsi la faculté de discernement et, partant, le degré de responsabilité.

Mais les questions de responsabilité ne se posent pas seulement pour l'utilisatrice ou l'utilisateur d'un appareil bioélectronique. Les fabricants du gadget pourraient également être tenus pour responsables. Supposons qu'une personne équipée d'un exosquelette fasse un mouvement maladroit involontaire et casse un vase précieux, voire blesse quelqu'un – qui en portera la responsabilité ? Et qu'en est-il si une personne équipée d'un système bioélectronique subit un dommage ? Selon la loi sur la responsabilité du fait des produits, le fabricant est tenu responsable des dommages causés par un produit défectueux. Cependant, il peut être difficile, en raison de la complexité des systèmes bioélectroniques, de prouver qu'un dommage a effectivement été causé par un défaut du produit et non par une utilisation incorrecte.

D'un point de vue éthique et juridique, les systèmes bioélectroniques particulièrement problématiques sont ceux qui agissent de manière autonome, c'est-à-dire indépendamment des décisions et des interventions des personnes qui les utilisent. Lorsque le libre arbitre est remplacé par un automatisme technique, il est important de clarifier la question de la responsabilité en cas de dysfonctionnement.

Protection des données et de la personnalité

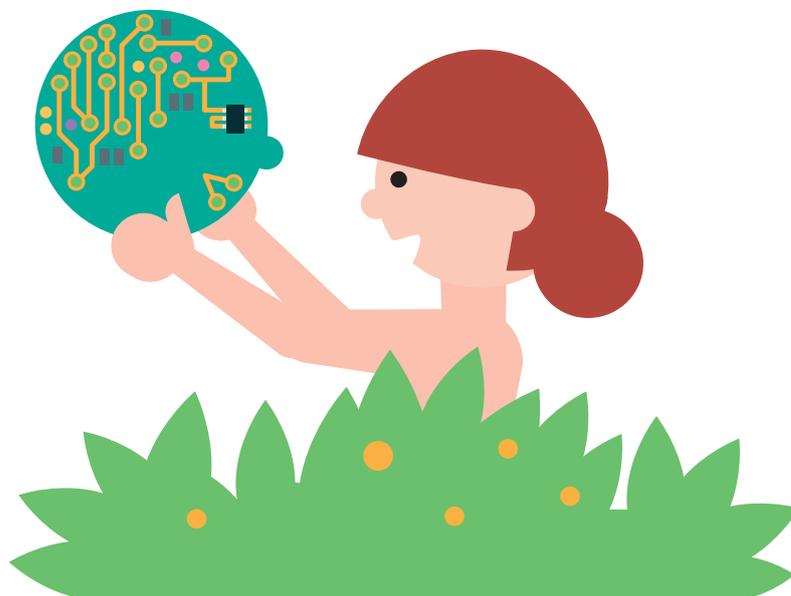
Des systèmes bioélectroniques qui scrutent le cerveau et agissent sur cet organe touchent au plus profond d'une personne. Il importe d'autant plus de protéger les données neurologiques collectées et exploitées. Le risque de « piratage » du cerveau est également débattu dans les milieux spécialisés : si des personnes non autorisées accédaient à un implant neurologique, il est concevable qu'elles pourraient déceler jusqu'aux dispositions les plus intimes d'une personne, la contrôler en permanence, ou même manipuler ses actions.

C'est pourquoi certains membres des milieux spécialisés préconisent de protéger ce qui fait le noyau de la personnalité par des dispositions constitutionnelles particulières ; au vu des développements en neurotechnologie, d'autres entendent que l'on puisse désormais revendiquer, outre le droit à l'autodétermination mentale, également le droit à la sphère privée mentale, à l'intégrité mentale et à la continuité psychique.

Réinterpréter la personnalité

À moyen terme, l'imbrication de l'homme et de la machine pourrait conduire à ce que la conception juridique de la personne soit adaptée aux nouvelles circonstances. Ainsi, l'artiste daltonien Neil Harbisson a obtenu que la bioélectronique soit reconnue comme partie intégrante de son corps et soit visible sur sa photo d'identité. Au vu du corps techniquement équipé et amélioré, il pourrait être nécessaire d'introduire une nouvelle catégorie normative de la « personne technicisée », ce qui affaiblirait les antagonismes actuels entre les choses (que l'on possède) et les personnes.

Pour remplir leur fonction, les appareils bioélectroniques ont besoin d'une multitude de données personnelles qu'ils collectent eux-mêmes. La protection des données sensibles occupe donc une place importante dans le débat juridique sur la bioélectronique. Mais vu que cette question se pose en des termes comparables pour des « wearables » traités dans l'étude de TA-SWISS sur le « Quantified Self » (2018), elle n'a pas été examinée une nouvelle fois de manière approfondie dans la présente étude.



Exploiter les potentiels sans occulter les risques

Jusqu'à présent, la bioélectronique était en premier lieu l'affaire de spécialistes. Le moment est venu de lancer un large débat. Car la bioélectronique commence à se répandre dans la vie quotidienne des gens.

Le développement futur de la bioélectronique non médicale aura des impacts sur les valeurs fondamentales de notre société ainsi que sur la science, l'économie, le système de santé et l'environnement. Les recommandations de la présente étude s'appliquent à ces différents champs d'action.

Ni engouement ni déni

La bioélectronique médicale se développe dans un champ de tension entre enthousiasme débordant et rejet. Des perceptions biaisées – dans quelque direction que ce soit – empêchent d'apprécier convenablement les potentiels et les risques de la bioélectronique non médicale pour la science, l'économie et, surtout, les utilisatrices et utilisateurs. Des formats faciles d'accès et compréhensibles, tels que des vidéos ou des podcasts, ainsi que des exposés et des débats aideraient la société à considérer la bioélectronique de manière plus objective.

Se référer aux substances psychoactives

Les applications bioélectroniques qui agissent sur le cerveau peuvent produire des effets similaires à ceux de la consommation de substances addictives ou de médicaments psychoactifs. Une étude comparative serait utile pour déterminer quelles réglementations et recommandations relatives aux substances psychoactives pourraient être appliquées à l'utilisation de la bioélectronique.

Protéger particulièrement les adolescentes et adolescents

Une utilisation incorrecte d'appareils bioélectroniques peut mettre la santé en danger. Il est particulièrement difficile d'évaluer les conséquences d'une stimulation électromagnétique inappropriée

du cerveau. Les jeunes personnes sont particulièrement menacées, car leur cerveau en plein développement est encore malléable et pourrait être durablement influencé par des impulsions électromagnétiques. Partant des connaissances acquises dans le domaine médical, une étude devrait explorer les possibles conséquences à long terme sur l'organisme – et surtout sur le cerveau – des adolescentes et adolescents et servir éventuellement de base à des examens plus approfondis.

Rendre tangible un phénomène abstrait

La bioélectronique non médicale est au point de convergence d'efforts réalisés dans de nombreuses disciplines scientifiques et par des acteurs économiques les plus divers. Elle fournit ainsi des éléments concrets pour illustrer l'imbrication fréquemment observée entre les sciences et les technologies – un aspect qui est certes souvent discuté de façon abstraite dans des cercles spécialisés, mais qui n'est guère porté à la connaissance du public. Des applications concrètes telles que les patches intelligents pourraient servir de tremplin à un débat de société sur la manière de gérer la convergence de la science et de la technologie et permettraient ainsi de toucher un public qui ne s'est encore guère penché sur ce phénomène, mais qui risque fort d'être confronté à ses conséquences.

Faire preuve d'ouverture en matière de réglementation

Les réglementations existantes relatives à l'autorisation de systèmes bioélectroniques sont axées sur les applications médicales. De plus en plus de voix demandent que, pour des raisons de sécurité, la bioélectronique non médicale soit soumise aux mêmes dispositions que la bioélectronique médicale. Or cela entraverait fortement l'activité d'innovation de petites et moyennes entreprises. Peut-être serait-il donc opportun d'introduire un nouveau modèle de réglementation pour les produits bioélectroniques dont la destination, médicale ou non médicale, n'est pas clairement établie. Non seulement les dispositions légales, mais également les normes techniques

et les standards privés ou sectoriels entrent en jeu dans ce contexte. Et peut-être faut-il formuler des directives éthiques spécifiques pour la recherche et le développement de produits neuroélectroniques.

Renforcer les réseaux de compétences

Le potentiel considérable de la bioélectronique, tant médicale que non médicale, implique de promouvoir la réflexion et le débat sur cette branche intéressante de la recherche et de l'économie. Le lancement d'une initiative, rassemblant des scientifiques de différentes disciplines, des personnes travaillant sur le terrain et des acteurs et actrices de l'économie, permettrait de renforcer le réseau de compétences en bioélectronique. Prévue pour une durée de sept à dix ans, cette initiative serait centrée

sur des projets qui ouvrent de nouveaux horizons à la science et aux activités entrepreneuriales et devrait promouvoir la bioélectronique médicale aussi bien que non médicale.

Mettre en question l'utilisation chez les animaux

Jusqu'à présent, des systèmes bioélectroniques ont été utilisés chez les animaux presque exclusivement à des fins de recherche. La législation doit-elle être adaptée à la technicisation croissante des animaux ? C'est là également une question à examiner.



Groupe d'accompagnement

- Prof. Dre Christina Aus der Au, Medical Humanities, Université de Fribourg
- Peter Biedermann, Swiss Medtech, Bern
- PD Dr Markus Christen, Digital Society Initiative, Universität Zürich
- Prof. Dr Antoine Geissbuhler, Service de cyber-santé et télémédecine, Hôpitaux Universitaires de Genève, délégué de l'Académie suisse des sciences médicales ASSM
- Prof. Dr Malte-C. Gruber, Rechtswissenschaftliche Fakultät, Universität Luzern
- Thomas Müller, rédacteur Radio SRF, membre du Comité directeur de TA-SWSISS, président du groupe d'accompagnement
- Dr Tobias Ruff, Laboratory of Biosensors and Bioelectronics, ETH Zürich
- Prof. Dr Giatgen Spinas, Prof. em. Universitäts-spital Zürich, membre du Comité directeur de TA-SWSISS

Gestion du projet chez TA-SWISS

- Dre Elisabeth Ehrensperger, directrice
- Dr Adrian Rügsegger, responsable de projet

Impressum

De l'être humain connecté à l'électronique incarnée

Synthèse de l'étude «Wenn Menschen ihren Körper mit Technik vernetzen.

Grundlagen und Perspektiven nicht-medizinischer Bioelektronik»

TA-SWISS, Berne 2022

TA 78A/2022

Rédaction : Dre Lucienne Rey, TA-SWISS, Berne

Traduction : Dr Jean-Jacques Daetwyler, Berne

Production : Dr Adrian Rügsegger et Fabian Schluemp, TA-SWISS, Berne

Mis en page et illustrations : Hannes Saxer, Berne

Impression : Jordi AG – Das Medienhaus, Belp

TA-SWISS – Fondation pour l'évaluation des choix technologiques

Souvent susceptibles d'avoir une influence décisive sur la qualité de vie des gens, les nouvelles technologies peuvent en même temps comporter des risques nouveaux, qu'il est parfois difficile de percevoir d'emblée. La Fondation pour l'évaluation des choix technologiques TA-SWISS s'intéresse aux avantages et aux risques potentiels des nouvelles technologies qui se développent dans les domaines « biotechnologie et médecine », « société de l'information » et « mobilité / énergie / climat ». Ses études s'adressent tant aux décideurs du monde politique et économique qu'à l'opinion publique. TA-SWISS s'attache, en outre, à favoriser par des méthodes participatives, l'échange d'informations et d'opinions entre les spécialistes du monde scientifique, économique et politique et la population. TA-SWISS se doit, dans toutes ses projets sur les avantages et les risques potentiels des nouvelles technologies, de fournir des informations aussi factuelles, indépendantes et étayées que possible. Il y parvient en mettant chaque fois sur pied un groupe d'accompagnement composé d'experts choisis de manière à ce que leurs compétences respectives couvrent ensemble la plupart des aspects du sujet à traiter.

La fondation TA-SWISS est un centre de compétence des Académies suisses des sciences.

TA-SWISS
Fondation pour l'évaluation
des choix technologiques
Brunngasse 36
CH-3011 Berne
info@ta-swiss.ch
www.ta-swiss.ch

membre des
 académies suisses
des sciences

