



IDÉE 15

L'IA ET LES NEUROTECH- NOLOGIES

Les neurotechnologies alimentées par l'intelligence artificielle (IA) permettent aux personnes de surveiller et de manipuler les activités de leur cerveau et de leur système nerveux. D'autres développements pourraient apporter des progrès majeurs en matière de santé et de bien-être, mais aussi soulever d'importantes préoccupations en matière de protection de la vie privée, d'éthique ou encore de droit social.

AUJOURD'HUI

Les neurotechnologies ont progressé rapidement grâce à l'IA. Les neurotechnologies font référence à toute technologie qui donne un aperçu de l'activité du cerveau ou du système nerveux ou qui a une incidence sur leur fonctionnement. La capacité de l'IA à traiter de grandes quantités de données, à analyser des signaux neuronaux complexes et à trouver des modèles dans l'activité cérébrale a contribué à développer à la fois de nouveaux **dispositifs externes** et des **dispositifs internes**¹. Par exemple, l'IA générative entraînée sur les ondes cérébrales peut grossièrement reconstruire du texte, des images ou du son en fonction de ce qu'une personne pense^{2,3,4}. L'IA peut également constituer un intermédiaire entre le système nerveux humain et les dispositifs connectés comme les neuroprothèses. Par exemple, l'IA rend les jambes neuroprothétiques plus robustes et utilisables, offrant ainsi une démarche plus naturelle, plus rapide et moins propices aux erreurs⁵.

La **neurotechnologie** consiste à connecter les dispositifs directement au système nerveux. Ils peuvent soit lire les signaux électriques du cerveau, soit encore le manipuler au moyen de la stimulation.

Un **dispositif interne** est implanté chirurgicalement directement sur le système nerveux. Un **dispositif externe** interagit avec le système nerveux de l'extérieur du corps. Les dispositifs externes sont moins invasifs, mais les dispositifs internes sont plus performants.

Les dispositifs neurotechniques les plus puissants sont internes et se limitent principalement à des fins médicales ou encore de recherche.

Bon nombre des applications les plus impressionnantes et les plus avant-gardistes des neurotechnologies nécessitent un dispositif interne. Par exemple, les personnes atteintes de déficiences motrices graves utilisent des interfaces cerveau-machine (ICM) – qui peuvent déduire de l'activité cérébrale le désir de changer, de bouger ou d'interagir avec quelque chose⁶ – pour communiquer et contrôler des dispositifs⁷. Les ICM sont également utilisées pour restaurer la fonction motrice chez les personnes atteintes de paralysie⁸. Les implants cérébraux expérimentaux qui fournissent une stimulation lorsqu'ils détectent des schémas de pensée nocifs peuvent être utiles dans le cadre du traitement de la dépression⁹. Ces dispositifs internes sont coûteux et nécessitent une intervention chirurgicale, ce qui a jusqu'à présent limité leur développement commercial et leur adoption au-delà des domaines de la médecine et de la recherche.

Malgré certaines préoccupations, le marché grand public des dispositifs neurotechniques externes est en pleine croissance.

Les dispositifs grand public sont généralement des bandeaux ou des écouteurs dotés d'électroencéphalographes (EEG) qui peuvent surveiller et stimuler le cerveau en appliquant un courant électrique de bas niveau. En tant que dispositifs externes, ils sont toutefois nettement moins puissants que leurs homologues médicaux. Ces dispositifs sont couramment commercialisés en tant que dispositifs de bien-être, de remise en forme, ou d'éducation qui prétendent améliorer la concentration, l'apprentissage, le sommeil, la méditation, ou la performance athlétique^{10, 11, 12}. Les préoccupations comprennent le manque de réglementation; les données probantes limitées au sujet de leur efficacité, avec des recherches suggérant un effet placebo; et les effets possibles à long terme sur la santé et les cognitifs. La discrimination constitue également un enjeu, compte tenu des facteurs de revenu et aussi de facilité d'utilisation, puisque de 15 % à 30 % des utilisateurs d'ICM sont des non-répondeurs; ce sont donc des personnes qui ne peuvent pas contrôler un ICM avec précision^{13, 14}. La vie privée peut également être une préoccupation : par exemple, en 2018, certains travailleurs militaires et d'usine chinois ont reçu des chapeaux et des casques parrainés par le gouvernement pour surveiller leurs ondes cérébrales pour la fatigue et les changements soudains de l'état émotionnel^{15, 16}. Malgré ces enjeux, le marché devrait presque doubler, passant de 13,47 milliards de dollars américains dans le monde en 2023 à 25,66 milliards de dollars américains d'ici 2028¹⁷.



Les derniers dispositifs grand public ont plus de capacités, créant ainsi de nouveaux cas d'utilisation. Par exemple, en 2024, Meta a dévoilé des prototypes de lunettes de réalité augmentée (RA) avec un « bracelet neural » doté d'un électromyographe (EMG) qui peut interpréter les signaux des nerfs moteurs associés aux gestes de la main, permettant ainsi un contrôle discret des interfaces de RA grâce à des mouvements subtils des doigts¹⁸. Meta a l'intention de vendre le bracelet en tant que dispositif autonome, et ce, dès 2025¹⁹. La prochaine version du dispositif portable d'Empatica – qui informe actuellement les personnes soignantes lorsqu'une personne a eu une crise – vise à utiliser l'IA afin de prédire une crise avant qu'elle ne se produise²⁰.





AVENIRS

Les neurotechnologies pourraient devenir beaucoup plus répandues et accessibles. À mesure que l'IA et les connaissances scientifiques du cerveau s'améliorent, les dispositifs externes destinés aux consommateurs pourraient devenir davantage en mesure de faire ce que les implants médicaux peuvent faire aujourd'hui. Par exemple, des dispositifs qui permettent de passer de la pensée au texte commercialement viables et non invasifs pourraient être présents sur le marché au cours des dix prochaines années²¹. Les EEG et les EMG pourraient être intégrés dans le cadre de dispositifs portables comme les montres intelligentes, les moniteurs d'activité physique et les écouteurs, ce qui rend les capacités en matière de neurotechnologies relatives au rendement cognitif ou physique aussi courantes que les capteurs de fréquence cardiaque. Au fur et à mesure que les implants comme les ICM affichent un plus haut rendement, les personnes en bonne santé pourraient décider que les avantages de l'amélioration ou du divertissement qu'ils offrent valent les risques de la chirurgie²².

Les neurotechnologies revêtent un vaste potentiel pour révolutionner les soins de santé. Les neurotechnologies sont bien placées pour cibler bon nombre des principales causes d'incapacité²³. Les neuroprothèses et les ICM pourraient améliorer la qualité de vie des personnes ayant une incapacité physique. La douleur chronique pourrait être traitée non pas au moyen d'opioïdes, mais plutôt par des neuromodulateurs, qui modifient l'activité nerveuse par le stimulus ciblé des sites neurologiques particuliers²⁴. La surveillance du cerveau pourrait permettre la détection et le traitement précoces des maladies neurodégénératives comme la démence. Les dispositifs neurotechnologiques pourraient traiter des conditions courantes et débilitantes comme la dépression et l'anxiété²⁵. La surveillance de l'humeur alimentée au moyen de l'IA pourrait devenir courante, offrant un soutien continu en matière de santé mentale.

Les neurotechnologies alimentées par l'IA pourraient soulever de plus en plus de préoccupations au sujet des droits cognitifs ou de la vie privée. Des neurotechnologies qui affichent un plus haut rendement et qui permettent d'accéder aux pensées et aux souvenirs des personnes – et de les influencer – donnent lieu à d'immenses risques potentiels de préjudice en raison d'une mauvaise utilisation. Les dispositifs neurotechnologiques grand public qui utilisent Bluetooth ou encore qui se connectent au nuage pourraient créer des occasions pour que des données sensibles sur l'activité cérébrale soient recueillies, analysées ou vendues à des tiers, à l'insu ou non de l'utilisateur. Le « détournement de cerveau », ou la prise de contrôle malveillante d'implants cérébraux, pourraient émerger comme un risque²⁶. Au fur et à mesure que les neurotechnologies se développent, qu'elles sont plus répandues et plus accessibles, il est probable qu'elles fassent l'objet d'un examen plus approfondi. Les personnes peuvent de plus en plus exiger des droits à la « liberté cognitive » et à la « vie privée mentale »^{27, 28}. D'autres pays pourraient même suivre l'exemple du Chili en intégrant les « droits neurologiques » dans le cadre de leur constitution²⁹.





IMPLICATIONS

- Les neurotechnologies pourraient de plus en plus être utilisées pour **lire les pensées des personnes ou encore anticiper leurs mouvements en temps réel**
 - › Cela pourrait entraîner une adoption accrue d'utilisations comme **la prévision de la fatigue du conducteur ou de l'opérateur afin de prévenir les accidents**
 - › Cependant, cela pourrait également être utilisé dans des contextes plus lourds sur le plan éthique, comme **le maintien de l'ordre, l'armée ou la surveillance des travailleurs**
- Les interfaces neurotechnologiques pourraient conduire à **la violation de la vie privée de la pensée des personnes**, que ce soit par les familles et les amis, les entreprises privées ou les gouvernements
 - › Des **piratages de données neurologiques** pourraient causer de nouveaux dommages psychologiques et physiologiques
- La **cognition augmentée** pourrait améliorer la capacité des personnes à apprendre à l'école ou encore à afficher un meilleur rendement au travail
 - › Si l'accès aux technologies qui permettent la cognition augmentée est déterminé par la richesse, cela pourrait **exacerber les inégalités sociales et économiques**
 - › L'utilisation généralisée de la cognition augmentée pourrait **entraîner plus de stress et d'épuisement professionnel** à l'école et au travail
 - › Si les dispositifs qui permettent la cognition augmentée ne sont toujours pas réglementés, il peut être **difficile d'évaluer leur efficacité, leur potentiel de discrimination ou leur innocuité**
- Les neurotechnologies pourraient **améliorer l'accessibilité** pour les personnes ayant des handicaps physiques ou encore des déficiences cognitives

- ▶ De nouveaux systèmes neurotechnologiques pourraient émerger pour **traiter des conditions comme la dépression**
- ▶ Les neurotechnologies intégrées dans les moniteurs d'activité physique et les écouteurs pourraient faciliter la **prédiction et la prévention des affections cérébrales** comme les anévrismes, la maladie d'Alzheimer et la démence
 - › À mesure que les dispositifs deviennent meilleurs dans la détection des enjeux de santé émergents, **les systèmes de santé qui ont du mal avec les soins préventifs pourraient être soumis à une pression accrue**
- ▶ Les pays qui soutiennent la recherche et le développement dans les neurotechnologies pourraient tirer **des avantages économiques et scientifiques de sa croissance rapide**



Notes de fin de texte

- 1 Chen, Zhiyi, et Ali Yadollahpour. « [A New Era in Cognitive Neuroscience: The Tidal Wave of Artificial Intelligence \(AI\)](#). » *BMC Neuroscience* 25 (6 mai 2024) : 23.
- 2 Airhart, Marc. « *Brain Activity Decoder Can Reveal Stories in People's Minds*. » *UT News*, 1^{er} mai 2023.
- 3 Nahas, Kamal. « [AI Re-Creates What People See by Reading Their Brain Scans](#). » *Science*, 7 mars 2024.
- 4 Sullivan, Will. « [Scientists Recreated a Pink Floyd Song From Listeners' Brain Waves](#). » *Smithsonian Magazine*, 17 août 2023.
- 5 Trafton, Anne. « [A Prosthesis Driven by the Nervous System Helps People with Amputation Walk Naturally](#). » *MIT News*, 1^{er} juillet 2024.
- 6 Calgary Pediatric Brain-Computer Interface Program. « [What Is a Brain Computer Interface?](#) » Cumming School of Medicine, Université de Calgary, sans date.
- 7 Reuters. « [Elon Musk's Neuralink Shows Brain-Chip Patient Playing Online Chess](#). » *The Guardian*, 21 mars 2024, sec. Technology.
- 8 Reuters. « [Elon Musk's Neuralink Shows Brain-Chip Patient Playing Online Chess](#). » *The Guardian*, 21 mars 2024, sec. Technology.
- 9 Alagapan, Sankaraleengam, Ki Sueng Choi, Stephen Heisig, Patricio Riva-Posse, Andrea Crowell, Vineet Tiruvadi, Mosadoluwa Obatusin, et al. « [Cingulate Dynamics Track Depression Recovery with Deep Brain Stimulation](#). » *Nature*, 622(7981) (octobre 2023) : 130-38.
- 10 Paek, Andrew Y., Justin A. Brantley, Barbara J. Evans, et Jose L. Contreras-Vidal. « [Concerns in the Blurred Divisions between Medical and Consumer Neurotechnology](#). » *IEEE Systems Journal*, 15(2) (juin 2021): 3069-80.
- 11 Mansuri, Misbaah. « [Neuropriming and CRISPR Technologies Are Empowering 'Super Athletes.'](#) » *WIRED Middle East*, 30 juillet 2024.
- 12 IEEE Brain. « [Neurotechnologies: The Next Technology Frontier](#). » *IEEE Brain* (blogue), sans date.
- 13 Maia de Oliveira Wood, Guilherme, Lisa Berger, Juliane Jarke, Gwendolin Barnard, Thomas Gremsl, Eugen Dolezal, Elisabeth Staudegger, et Petra Zandonella. « [The Protection of Mental Privacy in the Area of Neuroscience : Societal, Legal and Ethical Challenges](#). » Bruxelles, Belgique : Service de recherche du Parlement européen, juillet 2024.
- 14 [BCI Illiteracy : It's Us, Not Them. Optimizing BCIs for Individual Brains | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore](#).
- 15 Winick, Erin. « [With Brain-Scanning Hats, China Signals It Has No Interest in Workers' Privacy](#). » *MIT Tech Review*, 30 avril 2018.
- 16 Farahany, Nita A. *The Battle for Your Brain: Defending the Right to Think Freely in the Age of Neurotechnology*. St. Martin's Press, 2023.
- 17 Itd, Research and Markets. « [Neurotechnology Global Market Size, Competitors & Forecast](#). » Repéré le 7 octobre 2024.
- 18 Heath, Alex. « [Hands-on with Orion, Meta's First Pair of AR Glasses](#). » *The Verge*, 25 septembre 2024.
- 19 Finister, Erin. « [Meta Are Enhancing VR Experiences with Neural Wristbands](#). » *Expand Reality*, 16 septembre 2024.
- 20 Park, Andrea. « [Empatica Plots Study to Develop Seizure Prediction Algorithm](#). » Fierce Biotech, 30 novembre 2023.
- 21 Devlin, Hannah. « [AI Makes Non-Invasive Mind-Reading Possible by Turning Thoughts into Text](#). » *The Guardian*, 1^{er} mai 2023, sec. Technology.

- 22 Maia de Oliveira Wood, Guilherme, Lisa Berger, Juliane Jarke, Gwendolin Barnard, Thomas Gremsl, Eugen Dolezal, Elisabeth Staudegger, et Petra Zandonella. « [The Protection of Mental Privacy in the Area of Neuroscience : Societal, Legal and Ethical Challenges.](#) » Bruxelles, Belgique : Service de recherche du Parlement européen, juillet 2024.
- 23 Ploner M, Buyx A, Gempt J, Gjorgjieva J, Müller R, Priller J, et al. [Reengineering neurotechnology: placing patients first.](#) *Nature Mental Health.* 2023; 1(1) : 5-7.
- 24 Boyaji, Shafik, et Pritesh Topiwala. « [Pain and Neuromodulation : What's All the 'Buzz' About?](#) » *Harvard Health*, 3 mars 2020.
- 25 Haston, Shona, Sean Gill, Opeyemi Agbeleye, Katie Twentyman, Beth Green, Claire Eastaugh, Sonia Garcia Gonzalez Moral, et Andrew Mkwashi. « [Horizon Scanning Report : Neurotechnology for Mental Health, Healthy Ageing and Physical Disability.](#) » National Institute for Health Research Innovation Observatory, the University of Newcastle upon Tyne, septembre 2024.
- 26 Uchoa, Pablo. « [Could Hackers 'brainjack' Your Memories in Future?](#) » *BBC*, 19 février 2019.
- 27 Farahany, Nita A. *The Battle for Your Brain: Defending the Right to Think Freely in the Age of Neurotechnology.* St. Martin's Press, 2023.
- 28 Al-Rodhan, Nayef. « [The Rise of Neurotechnology Calls for a Parallel Focus on Neurorights.](#) » *Scientific American*, 27 mai 2021.
- 29 The Neurorights Foundation. « [Chili](#) », sans date.

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, 2025

Pour obtenir des informations sur les droits de reproduction : <https://horizons.gc.ca/fr/contactez-nous/>

PDF : PH4-225/2025F-PDF

ISBN : 978-0-660-76924-0

Also available in English under the title: AI and neurotechnology.

AVERTISSEMENT

Horizons de politiques Canada (Horizons de politiques) est le centre d'excellence en prospective du gouvernement du Canada. Notre mandat est de doter le gouvernement du Canada d'une perspective et d'un état d'esprit tournés vers l'avenir afin de renforcer la prise de décisions. Le contenu de ce document ne représente pas nécessairement le point de vue du gouvernement du Canada ou des agences et ministères participants.