



Technologie émergente en bref

Interfaces cerveau-machine bidirectionnelles

RDDC
DRDC

Les interfaces cerveau-machine (ICM) permettent au cerveau d'interagir avec un environnement en déchiffrant et en utilisant les impulsions cérébrales, ou en produisant un effet sur le cerveau à l'aide de stimuli externes. Les interfaces cerveau-machine bidirectionnelles (ICMb) sont quant à elles capables d'effectuer simultanément ces deux opérations. Si cette technologie soulève d'importants enjeux techniques, sociaux et réglementaires, elle trouve des applications en médecine, dans l'industrie du divertissement, en sécurité et en défense, ainsi qu'en marketing et en éducation.



Sciences et technologies habilitantes

Invasivité

L'ICM peut être invasive, non invasive ou semi-invasive. Les ICM non invasives lisent les ondes cérébrales grâce à des capteurs placés sur la tête du sujet, n'exigeant aucune intervention chirurgicale. Les ICM invasives offrent plus de précision grâce à des capteurs implantés dans le cerveau, mais nécessitent des interventions chirurgicales plus ou moins élaborées. Dans le cas des systèmes semi-invasifs, les capteurs sont posés à la surface de l'encéphale, sans être implantés à l'intérieur.

Composantes

L'ICM repose sur trois composantes: une technologie de lecture, une technologie de stimulation et des algorithmes capables de décoder les ondes cérébrales. L'électroencéphalographie et la stimulation électrique sont des techniques bien connues d'enregistrement et de stimulation des ondes cérébrales. Des algorithmes et d'autres technologies peuvent servir à traiter les

impulsions du cerveau, mais avènement l'avancement de l'intelligence artificielle (IA), ces dernières années, a débouché sur une analyse plus précise des signaux émis par l'encéphale.

ICM bidirectionnelles

Certains aspects ont plus d'importance pour les ICMb que pour les ICM unidirectionnelles. L'opération en temps réel effectuée par un ICMb fait de la vitesse de transmission des données un facteur essentiel. Le traitement et l'enregistrement des données devant s'effectuer au même endroit, il en va de même pour la portabilité et la miniaturisation. Enfin, les algorithmes doivent décoder les données rapidement et s'ajuster constamment aux signaux captés afin de stimuler le cerveau en conséquence.

Technologies habilitantes et bonifiées

En perfectionnant les électrodes et les algorithmes de décodage, les ICM

peuvent accélérer la robotique prothétique en soutenant le développement de prothèses robotisées et d'exosquelettes. Les systèmes de rétroaction neuronale employés en éducation et en réadaptation pourraient également profiter d'ICM pouvant aider l'utilisateur à réguler lui-même ses fonctions cérébrales. Enfin, les ICM peuvent rendre le contrôle des systèmes de divertissement à base de réalité augmentée ou virtuelle plus intuitif et instantané.

« Grâce à l'intelligence artificielle et aux progrès en détection des ondes cérébrales, les scènes futuristes des films de science-fiction pourraient bientôt devenir une réalité. (...) La synergie cerveau-machine permettrait à la science et aux technologies émergentes de nous en apprendre beaucoup sur l'intelligence humaine. »

Bicheng Han, fondateur et chef de la direction de BrainCo

Signaux

Universités



Les universités dominent la recherche sur les ICMB. Wright State et Case Western (É.-U.) ont été parmi les premières à s'y intéresser, mais l'École polytechnique fédérale de Zurich (Suisse) et l'École Supérieure Sant'Anna (Italie) sont les principales productrices de la recherche sur le sujet.

Gouvernements



Le gouvernement finance de nombreux projets de recherche en neurosciences. L'un d'eux est le projet WAY (Wearable interfaces for hand function recovery) de l'Union européenne, qui se penche sur la transmission bidirectionnelle de données sensorielles en vue de la récupération des fonctions des mains.

Collaboration



Les ICMB génèrent une importante collaboration à l'échelle internationale. Les pays européens, principalement le Danemark et la Suisse, publient beaucoup d'articles en collaboration, tandis que les co-publications des É.-U. sont surtout limitées au territoire américain.

Défense



Bien qu'elles produisent peu de publications sur les ICMB, les organisations militaires s'intéressant au domaine. «La Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) a notamment lancé des projets portant sur les interfaces bidirectionnelles, tel que le *Next-Generation Nonsurgical Neurotechnology*, qui porte sur les neurotechnologies non chirurgicales.

Entreprises



L'industrie joue un rôle mineur dans les publications de recherche mais beaucoup de petites et moyennes entreprises, surtout de jeunes entreprises, sont actives dans le domaine. En font partie Emotiv, InterAxon, Paradromics, Kernel et Neuralink.

« **Le marché de la consommation alimente énormément la technologie. (...) Les milliards de dollars nécessaires pour développer ce domaine ne viendront pas des chercheurs mais bien du secteur commercial. Il faudra que les forces du marché se rallient derrière cette technologie pour qu'elle s'épanouisse. »**

David Boas, professeur de radiologie à la Harvard Medical School et directeur d'Optical Imaging Core & Lab au Martinos Center

Impact



Social

Les ICM peuvent améliorer la qualité de vie de leurs utilisateurs, surtout en ce qui concerne la réadaptation prothétique. Toutefois, les neuroéthiciens craignent que ces dispositifs puissent nuire au libre-arbitre, un aspect particulièrement sensible vu l'importance de l'IA pour les ICM.



Politique

Des normes sur les ICM sont actuellement à l'étude. Les experts exhortent les gouvernements à réglementer la protection des renseignements personnels et le traitement des données. Des critères d'évaluation et des règles encadrant la participation des humains aux études sur les ICM sont jugés nécessaires.



Économie

Le coût élevé de la technologie pourrait en freiner l'adoption. Le développement des dispositifs, le matériel nécessaire et l'implantation des appareils coûtent cher, ce qui pourrait s'avérer prohibitif pour certains groupes d'utilisateurs, créant ainsi des inégalités dans l'accès à la technologie.



Environnement

La recherche n'a identifié aucun impact éventuel des ICM sur l'environnement. Les sciences environnementales ne se situent pas parmi les principales applications de la technologie et la fabrication des ICM ne semble pas poser de problème particulier sur le plan environnemental.



Défense

Les ICM pourraient être utilisés pour contrôler les véhicules télécommandés ou remplacer des membres amputés. Il existe toutefois des risques: l'intégrité des données et la connexion entre le cerveau et la machine pourraient être compromises advenant une cyberattaque.

« **Avant que la société tire pleinement parti des avantages que laissent entrevoir les neurotechnologies, il faudra régler les questions éthiques, sociales et légales d'ordre plus général à mesure qu'elles se présentent et s'assurer que la société participe activement au développement et au déploiement technologique. »**

Diana Bowman, professeure agrégée à la School for the Future of Innovation in Society et au Sandra Day O'Connor College of Law

Contact

EDT-TEP@forces.gc.ca

Vos commentaires, svp

Préparé conjointement par le Conseil national de recherches du Canada et Recherche et développement pour la défense Canada.

Tiré de :

Senay, M. *Scientometric study on bidirectional brain-computer interfaces*. Mars, 2021.

Avril 2021 · Also available in English

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représentée par le ministre de la Défense nationale, 2023

No de cat. : D69-85/2023F-PDF
ISBN : 978-0-660-49825-6