



UN ROBOT SUR LA LUNE PEUT-IL ÊTRE CONTRÔLÉ À DISTANCE ?

Louis-David Beaulieu*

Laboratoire de recherche BioNR [Biomécanique-Neurophysiologique-Réadaptation], Centre intersectoriel en santé durable, Département des sciences de la santé, Université du Québec à Chicoutimi, Saguenay (Québec), Canada

Imagine que tu es aux commandes d'un robot sur la Lune ! Tu utilises une manette, mais il y a un délai : chaque ordre met quelques secondes à s'exécuter. Pourquoi ? Parce que les ondes radio, bien que très rapides, prennent du temps à voyager. Mais savais-tu qu'un problème similaire existe dans ton corps ? Ton corps et ton cerveau dialoguent entre eux grâce aux neurones. Même si c'est très rapide, des petits délais existent, comme pour le contrôle de ton robot lunaire. Heureusement, ton corps et le robot ont trouvé des astuces : des capteurs et des réflexes automatiques pour réagir vite sans attendre les ordres. Fascinant, non ?

Imagine que tu viens d'être nommé.e pilote d'un robot qui se trouve sur la Lune. On te remet une manette, un écran de contrôle et on te demande d'explorer la surface lunaire. Toi et le robot communiquez

par ondes radio grâce à des émetteurs-récepteurs. Dès tes premières tentatives pour faire avancer le robot tu te rends compte d'un défi important : il y a un délai de communication. En effet, les ondes radio voyagent à la vitesse de la lumière, soit environ 300 000 kilomètres par secondes (km/s). Considérant que tu te situes à 400 000 km de la Lune, la communication prend environ 1 seconde et demie, selon la formule suivante :

$$400000 \text{ km} \div 300000 \text{ km/s} = 1,33 \text{ s}$$

Donc, quand tu pousses la manette pour faire avancer le robot, ça prend 1 seconde et demie avant que le robot avance, puis 1 autre seconde et demie pour que les capteurs sur le robot te montrent ce qui se passe, pour un délai total d'environ 3 secondes. Imagine jouer à un jeu vidéo où tu vois arriver une horde de monstres, mais que ton personnage prend 3 longues secondes avant de réagir quand tu appuies sur la manette !

Ce long délai met ton robot en danger. Sur la Lune, il doit explorer un terrain rempli de crevasses, roches et buttes, souvent dans l'obscurité. Même avec des caméras, impossible d'éviter tous les obstacles à temps. Conclusion : contrôler un robot à distance ne suffit pas. Il lui faut des capteurs et des fonctions automatiques pour réagir seul. Par exemple, une caméra qui détecte un obstacle et arrête le robot, ou des capteurs sur les roues qui détectent une crevasse et lui ordonnent de reculer. Tu es toujours aux commandes pour donner les consignes générales (par exemple explorer telle zone lunaire), mais les contrôles automatiques permettent un ajustement rapide selon l'état du robot et de son environnement.

TRANSMISSION ÉLECTROCHIMIQUE.

Méthode de communication entre neurones utilisant la conduction électrique (ions) et la transmission chimique (neurotransmetteurs).

SYSTÈME NERVEUX. Réseau complexe incluant les nerfs et les cellules nerveuses qui font circuler des signaux électrochimiques entre les différentes parties du corps. Sous-divisé en système nerveux central (le cerveau et la moelle épinière) et périphérique (les nerfs).

NEURONE. Cellule excitable qui forme l'unité de travail de base du système nerveux.

Maintenant que nous avons parlé de robot et d'exploration spatiale, passons à mon autre passion : le cerveau. Comme tu le découvriras dans les prochaines sections, notre cerveau fait lui aussi face à des problèmes de délais de communication. Disons que tu veux aller explorer un nouveau sentier en forêt. Ton cerveau doit, entre autres, commander à tes pieds de pousser sur le sol et se soulever en alternance pour marcher. Contrairement au robot, la commande qui part de ton cerveau vers tes pieds voyage par **transmission électrochimique** dans ton **système nerveux** [1]. Plus précisément, il existe des cellules spécialisées pour transmettre de l'information dans ton corps qu'on appelle les **neurones**. Il y a près de 100 milliards de neurones dans ton corps (c'est-à-dire 100 000 000 000), un nombre comparable au nombre d'étoiles dans notre Galaxie. La transmission électrochimique dans le système nerveux, c'est la façon dont les neurones communiquent. Quand un neurone veut envoyer un

AXONE. Long prolongement du neurone qui transmet de l'information vers une cellule cible.

POTENTIEL D'ACTION. Signal de base de la communication nerveuse, aussi appelé influx nerveux. C'est une onde de décharge électrique brève et rapide qui se propage le long de la membrane des cellules excitables et transmet des informations, grâce à l'échange d'ions (ex: sodium, potassium) entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule.

SYNAPSE. Espace microscopique entre deux neurones permettant l'échange d'informations grâce aux neurotransmetteurs

NEUROTRANSMETTEUR. Substance chimique qui permet l'échange d'informations entre deux neurones à travers la synapse.

message à un autre, il utilise deux étapes (**Figure 1**) :

- une étape électrique : le neurone crée un signal électrique qui voyage le long de son « câble » appelé **axone**. Ce signal s'appelle un **potentiel d'action**.
- une étape chimique : quand ce signal arrive au bout du neurone, il ne peut pas sauter directement à l'autre neurone, car il y a une minuscule espace entre eux (la **synapse**). Alors, le neurone libère des messagers chimiques (les **neurotransmetteurs**) qui traversent cet espace et vont activer le neurone suivant.

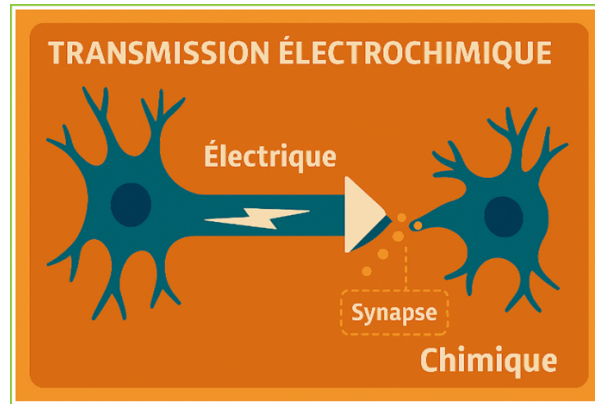


Figure 1. La transmission électrochimique dans le système nerveux

Les neurones qui envoient des informations vers tes muscles doivent donc faire voyager leur signal sur une distance assez longue. Les temps de conduction dans les neurones qui contrôlent les mouvements sont parmi les plus rapides, par exemple autour de 100 mètres par secondes [2]. Pour notre exemple de marche en forêt, tenons pour acquis que tu mesures 1,5 mètres. Considérant que la commande vers tes pieds voyage à 100 mètres par seconde, cela prendrait autour de 0,015 secondes (ou 15 millisecondes) pour transmettre l'information. Pas trop mal non ?

$$1,5 \text{ m} \div 100 \text{ m/s} = 0,015 \text{ s}$$

Mais il y a d'autres facteurs de ralentissement dans ton corps. D'abord, le signal ne part pas d'un seul émetteur pour se rendre à un seul récepteur – il doit plutôt passer d'un neurone à l'autre et le dialogue prend du temps, environ 0,5-1 milliseconde à chaque échange [2]. On ignore le nombre exact de neurones nécessaires pour initier un mouvement, mais il en faut des centaines, voire des milliers, qui coopèrent pour comprendre ton intention, choisir la meilleure stratégie, puis transmettre la commande à tes muscles. Si chaque discussion entre neurones ajoute 0,5-1 milliseconde au délai total, alors faire un mouvement peut facilement prendre des centaines de millisecondes.

On peut estimer ces délais en mesurant le temps de réaction, lorsqu'on te demande d'appuyer le plus vite possible sur un bouton en réaction à un signal sonore ou visuel (Figure 2). Les temps de réaction pour les humains varient autour de 100-400 millisecondes [3], mais ce chiffre peut facilement augmenter s'il faut réfléchir ou choisir parmi différentes réactions possibles, allant même jusqu'à 1 seconde ou plus si la tâche est très compliquée [4]. En 1 seconde, un.e sprinteur.e olympique parcourt environ 10 mètres (la longueur d'un autobus scolaire !). La vitesse à laquelle tu marches ou que tu cours nécessite des mouvements bien plus rapides (essaie de faire 1 pas à chaque seconde, c'est incroyablement lent).



Figure 2. Exemple de méthode pour mesurer les temps de réaction

Comme pour le robot lunaire, nous pouvons donc conclure qu'il doit exister d'autres moyens de contrôle capables d'accélérer les temps de réaction, par exemple pour t'empêcher de tomber si ton pied butte sur un caillou. Dans ton corps, ces moyens de contrôle se trouvent dans des parties du système nerveux qui sont « en-dessous » du cerveau, donc plus proches de tes muscles et de tes capteurs sensoriels [2]. On parle par exemple d'endroits qui ont de drôles de noms comme (Figure 3) :

- **Moelle épinière** : vient du latin *medulla* (substance molle) et *spina* (épine) ; c'est la partie molle située dans la colonne vertébrale qui transmet les messages entre le cerveau et le reste du corps.
- **Tronc cérébral** : du latin *truncus* (tronc) et *cerebralis* (relatif au cerveau) ; c'est la « tige » qui relie le cerveau à la moelle épinière.
- **Cervelet** : du latin *cerebellum* (petit cerveau) ; il ressemble à un petit cerveau situé sous le cerveau principal.

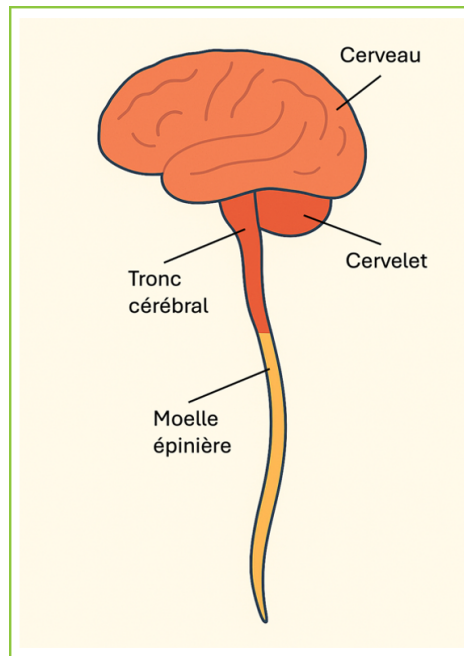


Figure 3. Schéma simplifié du système nerveux central

De nos jours, plusieurs chercheur.es s'entendent (même s'il y a encore des débats) pour ne plus présenter le corps et le cerveau comme deux entités séparées, l'une étant le maître (le cerveau) et l'autre étant l'esclave (le corps) [5]. Au contraire, le cerveau et le corps sont vus comme inséparables - deux côtés d'une même médaille. Cette idée propose donc que nos pensées, désirs, décisions, etc. ne viennent pas seulement du cerveau, mais de l'ensemble du corps et de son interaction avec le monde [5]. Le cerveau ne fonctionnerait donc pas comme un ordinateur isolé. Nos gestes, nos sensations et nos mouvements influencent la manière dont nous pensons. Quand tu bouges pour mieux comprendre, par exemple pour résoudre un problème en comptant sur tes doigts ou en dessinant, ton corps aide le cerveau à réfléchir. C'est un peu le même principe qu'avec ton robot lunaire ; sans capteurs ni moteurs, tu ne pourras pas explorer la surface lunaire, ce qui va t'empêcher d'apprendre, de réfléchir et de partager de nouvelles découvertes.

Une autre conclusion importante est que, tout comme ton centre de contrôle robotique terrestre, notre cerveau reçoit des informations périmées sur l'état du corps et planifie des réactions qui seront encore plus périmées lorsqu'elles se réalisent [2]. Pourtant, nous avons l'impression que tout se fait en temps réel. Comment réussit-il ce tour de magie ?

Une des explications proposées est que le cerveau essaie de prédire ce qu'il va ressentir plutôt que d'attendre que toutes les informations arrivent [5]. Si la prédiction est bonne, les mouvements s'enchaînent

avec fluidité et le cerveau ne s'intéresse que peu ou pas aux sensations qui sont produites. Mais si la prédiction est mauvaise, il faut analyser les sensations et corriger le mouvement, ce qui est moins fluide et plus lent. C'est pour ça que marcher dans un couloir dégagé est facile, mais marcher les yeux fermés dans une pièce pleine d'obstacles devient un vrai défi !

Pour conclure, le contrôle de nos mouvements est un sujet complexe mais passionnant et il nous reste encore beaucoup à apprendre. En attendant, la prochaine fois que tu pars faire une promenade, essaie d'imaginer à quoi ressemblerait ton expérience si tu pouvais augmenter ou réduire les délais de communication de ton système nerveux. Pour ma part, je pense que dans un cas tu devrais probablement marcher très très lentement pour ne pas trébucher, alors que dans l'autre cas tu aurais peut-être l'impression que ce n'est pas toi qui contrôles ton corps, intrigant non ? Arrives-tu à la même conclusion ou imagines-tu complètement autre chose ? Et si tu pouvais plutôt allonger ou raccourcir ton corps comme le font certains superhéros ? Les meilleures découvertes commencent par des questions comme celle-ci. Alors, lance-toi : partage tes idées et fais voyager la science !

RÉFÉRENCES

1. Bruno D, Yvon D. R. Notre cerveau à tous les niveaux: Du Big Bang à la conscience sociale: Les Éditions Écosociété; 2024.
2. Mark L. L. Fundamentals of Motor Control 1st ed: Academic Press; 2012.
3. Woods DL, Wyma JM, Yund EW, Herron TJ, Reed B. Factors influencing the latency of simple reaction time. Front Hum Neurosci. 2015;9:131.
4. Tun PA, Lachman ME. Age differences in reaction time and attention in a national telephone sample of adults: education, sex, and task complexity matter. Dev Psychol. 2008;44(5):1421-9.
5. Savaki HE, Raos V. Action perception and motor imagery: Mental practice of action. Prog Neurobiol. 2019;175:107-25.

ARTICLE ORIGINAL EN VERSION FRANÇAISE

SOUMIS le 18 décembre 2025 ; **ACCEPTÉ** le 5 juin 2026

PUBLIÉ EN LIGNE le 24 octobre 2026

ÉDITION : Catherine Braun-Breton, Association Jeunes Francophones et la Science

CITATION : Beaulieu L.D. 2026. Un robot sur la lune peut-il être contrôlé à distance ? <https://www.jeunesfrancophonesetlascience.fr>

DÉCLARATION DE CONFLIT D'INTÉRÊT

L'auteur déclare que les travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un conflit d'intérêt potentiel.

DROITS D'AUTEURS

Copyright © 2026 Beaulieu

Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence Creative Commons Attribution (CC BY). Son utilisation, distribution ou reproduction sont autorisées, à condition que les auteurs d'origine et les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans cette revue soit citée conformément aux pratiques académiques courantes. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

MENTOR SCIENTIFIQUE : [Océane Paris](#)

REMERCIEMENTS : Merci à Benjamin Vierre et Marion Lombroso pour leur accueil et leur implication dans l'édition de cet article par leurs élèves.

JEUNES ÉDITRICES ET ÉDITEURS

NOAH, ADAM, MATIS, YOUSSEF, LÉO, KÉZAN, BASIL, 11-12 ANS

Ils sont en classe de 6^{ème} dans le Sud de la France, curieux et fiers qu'on leur fasse confiance pour l'édition d'articles scientifiques !

AUTEUR

LOUIS-DAVID BEAULIEU

Je suis professeur en physiothérapie, directeur du Laboratoire BioNR à l'Université du Québec à Chicoutimi, Canada, et un père fier de ses 5 enfants. J'ai toujours été fasciné par l'espace et la technologie, et je dévore les livres et films de science-fiction mettant en conflit humains et robots dans une lutte sans merci pour prendre le contrôle de la galaxie. Mais dans mon travail de chercheur, je suis captivé par le cerveau et la manière dont il est capable de percevoir et contrôler nos mouvements. En plus de mes passions pour la science-fiction et le cerveau, je pratique le triathlon, la jonglerie et le ski de fond, et encourage mes proches, mes collègues et mes étudiant.es à trouver un équilibre de vie où la famille, la santé et le plaisir au travail sont au centre d'une carrière scientifique réussie.

*Louis-David_Beaulieu@uqac.ca