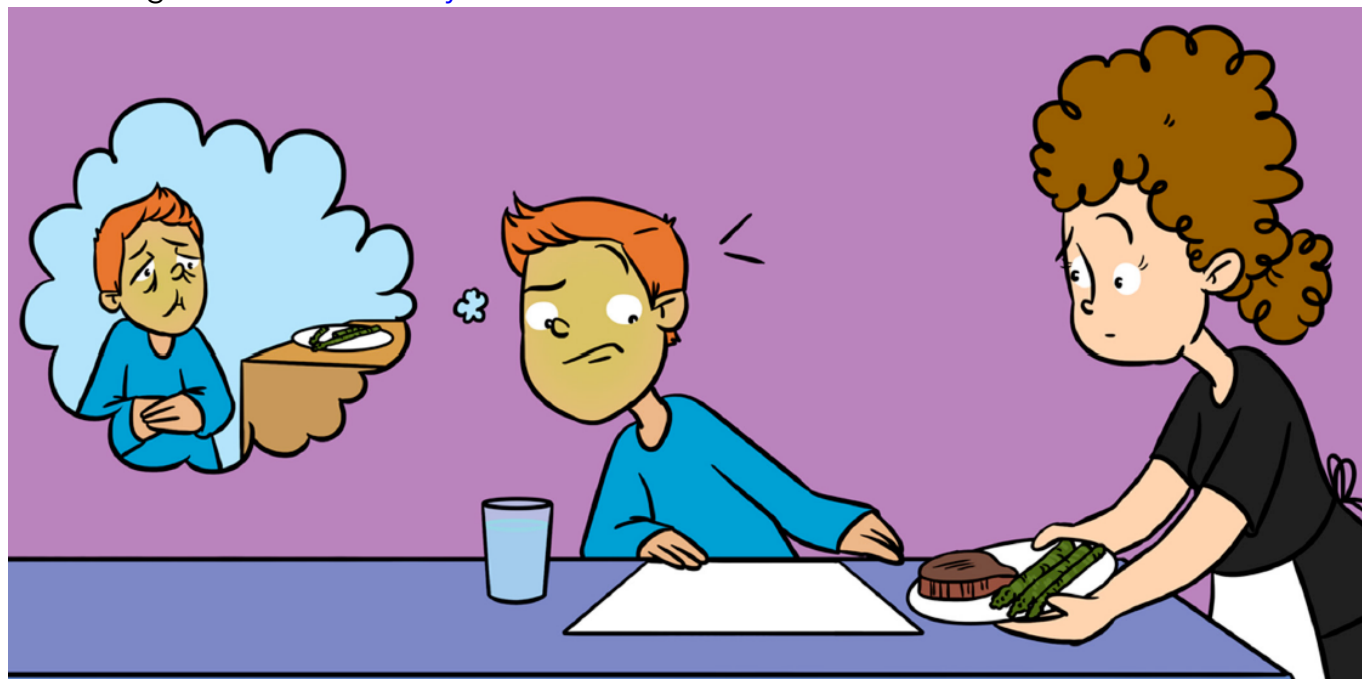




COMMENT NOTRE CERVEAU CONNECTE-T-IL LE MONDE QUI NOUS ENTOURE À NOTRE MONDE INTÉRIEUR ?

Yoav Livneh

Département des Sciences du Cerveau, Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel

Lorsque nous avons faim et que nous détectons l'odeur d'aliments délicieux, des choses commencent à se produire dans notre corps – nous avons l'eau à la bouche, notre estomac libère des sucs digestifs, des hormones et plus encore... Tout cela avant même de goûter la nourriture. Comment cela se passe-t-il ? Notre cerveau peut prédire l'avenir. Non pas par magie, mais en apprenant des expériences passées. Notre cerveau fait constamment des prédictions sur le monde qui nous entoure – c'est ce qui nous permet d'attraper une balle, de faire du vélo et d'estimer la vitesse à laquelle une voiture arrive afin de traverser la route en toute sécurité. Notre cerveau fait également des prédictions sur des choses à l'intérieur de notre corps. Dans cet article, je décris comment le cerveau utilise les informations des expériences passées pour anticiper ce dont le corps va avoir besoin à l'avenir. Ces prédictions sont étroitement liées à la façon dont nous ressentons les émotions et les sentiments, de sorte que les comprendre peut nous aider à mieux appréhender et traiter divers problèmes de santé mentale.

LA CONNEXION CERVEAU-CORPS

Ton cerveau et le reste de ton corps communiquent entre eux à chaque instant, tout au long de ta vie. Cette communication est essentielle pour notre santé physique et mentale, mais comment se produit-elle ? Selon les théories traditionnelles, lorsqu'il y a un changement dans le corps,

SYSTÈME SENSORIEL. Partie du système nerveux responsable de la sensation. Cela comprend des récepteurs sensoriels qui reçoivent une information, les voies nerveuses qui transportent cette information au cerveau et les parties du cerveau qui traitent cette information.

SYSTÈME SENSORIEL INTERNE. Système sensoriel dont les récepteurs sont situés à l'intérieur du corps.

SUC DIGESTIF. Liquide contenant beaucoup d'enzymes nécessaires à la digestion des aliments.

comme lorsque nous mangeons ou avons trop chaud, nos **systèmes sensoriels internes** envoient un message au cerveau. Le cerveau réagit ensuite en envoyant des instructions au corps, telles que « démarrer le processus de digestion » ou « commencer à transpirer ». Ceci est similaire à la façon dont nos climatiseurs domestiques fonctionnent : quand il fait trop chaud, un capteur de température envoie un message au climatiseur pour refroidir la pièce.

Maintenant, imagine que tu marches dans la rue. Cela fait longtemps que tu n'as pas déjeuné et tu as très faim. Soudain, tu sens quelque chose de délicieux. L'odeur des aliments déclenche immédiatement une réaction complexe et coordonnée dans ton corps : la salive s'accumule dans ta bouche, les **sucs digestifs** sont libérés dans ton estomac, l'insuline (une hormone importante pour absorber le sucre) est sécrétée par le pancréas, et plus encore... tout cela avant de prendre la première bouchée. Cet exemple (**Figure 1**) montre comment notre cerveau contrôle nos fonctions corporelles, non seulement en réponse aux changements réels dans le corps, mais aussi en prévision de ce qui va se passer. Il y a plus d'un siècle, ce phénomène a été identifié et étudié par le scientifique russe Ivan Pavlov. Pour ses recherches importantes et novatrices, il a reçu le prix Nobel [1].



Figure 1. Notre cerveau relie le monde qui nous entoure à l'intérieur de notre corps. L'image montre une personne qui voit et sent un gâteau. Cette information sensorielle déclenche une commande cérébrale à l'estomac, provoquant des changements tels que la libération de sucs digestifs. Les informations sur ces changements et sur la digestion éventuelle des aliments sont renvoyées au cerveau pour les mettre à jour.

LE CERVEAU ANTICIPE CE DONT LE CORPS AURA BESOIN À L'AVENIR

DIABÈTE. Maladie caractérisée par un excès de sucre dans le sang.

Tu te demandes peut-être pourquoi notre cerveau a besoin de prédire l'avenir pour réguler les fonctions corporelles. De nombreuses études ont montré que, pour maintenir notre santé, le cerveau doit anticiper les besoins de l'organisme. Par exemple, si nous injectons de la nourriture directement dans l'estomac par un tube, ce qui empêche le cerveau de prédire que la nourriture arrive, le corps a du mal à absorber les sucres de la nourriture, créant une condition temporaire similaire au **diabète**. En effet, lorsque la nourriture est déjà à l'intérieur de notre corps, il est trop tard pour qu'il commence à la traiter efficacement. En plus de la digestion, les prédictions du cerveau jouent un rôle important dans le maintien d'autres fonctions corporelles, telles que la régulation des quantités de liquide et de sel dans notre corps.

Pour que notre cerveau puisse prédire nos besoins et contrôler nos fonctions corporelles, il doit apprendre des expériences passées. Nous parlons d'expériences internes – celles qui se produisent à l'intérieur de notre corps. Un bon exemple est lorsque nous évitons un aliment qui nous a rendus malades dans le passé. Après être tombé malade à cause d'un aliment, notre cerveau apprend rapidement à l'éviter, et nous ressentirons du dégoût lorsque nous le voyons, le sentons ou le goûtons par la suite. Ce type d'apprentissage est essentiel à la survie des animaux dans la nature, car il les aide à éviter les aliments nocifs et les maladies. En fait, ce type d'apprentissage se produit si rapidement, et la mémoire qui en reste est si forte et durable, que les scientifiques l'utilisent pour étudier les mécanismes généraux de l'apprentissage et de la mémoire dans le cerveau.

Dans ces situations, le cerveau se souvient de l'association entre un événement externe (l'odeur d'un aliment particulier) et un événement interne (nausées ou douleurs à l'estomac). Mais comment notre cerveau fait-il ces associations ? Et ce processus a-t-il une signification autre que le contrôle des fonctions corporelles ?

L'INSULA – L'ÎLE ISOLÉE DANS LE CERVEAU QUI RELIE LE MONDE INTÉRIEUR AU MONDE EXTÉRIEUR

CORTEX CÉRÉBRAL. Couche externe du cerveau chez les mammifères, impliquée dans les fonctions cérébrales les plus avancées, telles que mémoire, attention, langage, imagination, prise de décision et planification à long terme.

INSULA. Zone du cerveau cachée dans un pli profond du cortex cérébral, nous aidant à sentir et contrôler les fonctions corporelles, éprouver le goût, les émotions et les sentiments tels que la faim et la douleur.

Le **cortex cérébral**, la couche externe mince du cerveau qui se trouve sous la boîte crânienne, est responsable des fonctions plus avancées de notre cerveau, telles que la mémoire, l'attention, le langage, l'imagination, la prise de décision et la planification à long terme. Le cortex cérébral n'est lisse mais plissé. Cachée dans l'un des plis les plus internes du cortex cérébral se trouve une zone appelée **insula**. Cette zone tire son nom du fait qu'elle est cachée très profondément (« Insula » signifie « île » en latin) (**Figure 2**), mais l'insula n'est pas réellement isolée. Elle est connectée à de nombreuses zones du

cerveau et communique avec elles.

L'une des caractéristiques uniques de l'insula est qu'elle reçoit des informations sensorielles détaillées sur ce qui se passe dans tout notre corps. Alors que d'autres zones du cortex cérébral reçoivent des informations de nos sens externes sur ce qui se passe autour de nous, l'insula identifie ce qui se passe à l'intérieur de notre corps.

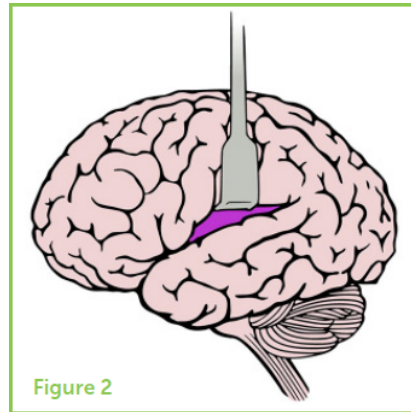


Figure 2. Illustration du cerveau humain (l'avant à gauche et l'arrière à droite). Le cortex cérébral est la couche externe qui recouvre le cerveau, et il a de nombreux plis, comme le montre la figure. L'insula (en violet) est cachée à l'intérieur des plis et ne peut être vue que lorsqu'on les écarte avec une spatule (en gris).

Notre compréhension du cortex cérébral a grandement progressé grâce aux recherches du neurochirurgien canadien Wilder Penfield. Dans les années 1940, Penfield a cartographié la fonction des différentes parties du cortex cérébral alors qu'il se préparait à la chirurgie des patients atteints d'épilepsie (tu peux voir [ici](#) la carte du cerveau élaborée par Wilder Penfield). Pour savoir où il devait opérer et où il devait être particulièrement prudent, Penfield a appliqué un léger courant électrique au cortex cérébral du patient. Il a constaté que la stimulation de différentes zones du cortex cérébral provoquait des réactions dans les zones correspondantes du corps. Par exemple, lorsqu'il stimulait la « zone de la main », les patients ont déclaré avoir senti quelque chose toucher leur main. Lorsqu'il a stimulé l'insula avec un léger courant électrique, les patients ont déclaré ressentir des sensations internes, comme celle d'avoir « des papillons dans ventre » ou de ressentir des nausées. En outre, Penfield a constaté que la stimulation électrique de l'insula activait les selles, similaire à ce qui se passe lorsque nous digérons les aliments.

IMAGERIE CÉRÉBRALE.

Diverses technologies comme l'IRM et la tomodensitométrie créant une image ou une carte de la structure et de la fonction du cerveau. Elle est utilisée en recherche médicale et scientifique.

De nombreuses années plus tard, des techniques d'**imagerie cérébrale** ont été mises au point. Elles ont permis aux chercheurs de « voir » l'activité cérébrale humaine en temps réel. En utilisant l'imagerie cérébrale, les chercheurs ont découvert que l'activité dans l'insula correspond à de nombreux changements internes, tels que les modifications de la pression artérielle, de la fréquence cardiaque, de la respiration, de la température et de la digestion.

SAILLANCE. Émergence sur un fond comme quelque chose qui ressort particulièrement et capte l'attention.

RÉSEAU DE SAILLANCE.

Réseau de zones cérébrales répondant à des événements externes anormaux et / ou importants. Surveillant en permanence l'environnement d'un organisme, il filtre les stimuli et identifie les événements importants.

Les chercheurs ont aussi découvert qu'en plus de réagir et de réguler les choses qui se passent à l'intérieur de notre corps, l'insula réagit également aux choses qui se passent autour de nous. En fait, l'insula est maintenant considérée comme une partie importante du **réseau de saillance**, un réseau reliant plusieurs zones du cerveau qui travaillent ensemble pour traiter des informations sur des événements inhabituels ou significatifs qui se produisent dans le monde qui nous entoure.

En résumé, l'insula relie nos mondes intérieur et extérieur, et elle apprend des événements passés pour anticiper ce dont notre corps aura besoin à l'avenir, comme apprendre à éviter les aliments qui nous ont déjà rendus malades, ou rechercher des aliments dont il se souvient que nous les trouvons savoureux et nutritifs [2]. Tout cela n'est-il pertinent que pour manger ? Et qu'est-ce que cela a à voir avec les émotions ?

L'INSULA NOUS AIDE À TRAITER NOS ÉMOTIONS

Établir des liens entre les événements externes et internes est également une partie essentielle de la façon dont nous vivons nos émotions. Beaucoup de nos émotions se traduisent aussi par des changements physiques, tels qu'un rythme cardiaque accéléré ou une augmentation de la pression artérielle. Il existe de nombreuses théories suggérant que la façon dont nous interprétons ou comprenons les changements dans notre corps influence – et peut-être même détermine – notre état émotionnel. Par exemple, si ton cœur commence à battre juste avant de monter sur scène pour la première fois, tu peux interpréter cela comme signifiant que tu as le trac. Mais si la même chose se produit après une longue course, tu penseras probablement que tu as eu une bonne séance d'entraînement. De même, une sensation de « papillons dans le ventre » ou de nausées légères pourraient te faire ressentir des émotions différentes selon les circonstances. Par exemple, si tu as la nausée après avoir mangé beaucoup de gâteau, tu interpréteras probablement cela comme : « J'ai tellement mangé que je suis malade ». Cependant si cela se produit juste avant de monter sur scène, ce même sentiment pourra te faire craindre d'avoir le trac.

En raison de son rôle important dans la connexion des mondes externe et interne, l'insula est considérée comme une partie essentielle du réseau cérébral qui provoque nos expériences émotionnelles. Le rôle principal de l'insula dans l'expérience émotionnelle est de relier les signaux provenant de l'intérieur du corps (comme une légère sensation de nausée ou un rythme cardiaque rapide) aux événements qui se produisent dans le monde environnant (comme voir le public lorsque tu joues pour la première fois) [3].

Les scientifiques ont découvert que des perturbations dans la fonction

**TROUBLE DU
COMPOTEMENT
ALIMENTAIRE.**

Maladie psychiatrique se traduisant par le fait de trop limiter son alimentation (anorexie) ou de manger beaucoup trop et sans pouvoir s'en empêcher (boulimie).

TOXICOMANIE. Prise répétée de substances toxiques pour l'organisme (drogues) créant un état de dépendance psychique et physique appelé addiction.

MODÈLE ANIMAL. Espèce animale élevée en laboratoire particulièrement adaptée à la recherche et pouvant aider les scientifiques à comprendre la biologie d'autres animaux et des humains.

de l'insula sont liées à de nombreux types de problèmes de santé mentale, tels que les **troubles du comportement alimentaire**, la **toxicomanie**, la dépression et l'anxiété. Ce lien est plus facile à comprendre maintenant que nous savons comment l'insula est impliquée dans le traitement des émotions. De nombreux chercheurs croient que les problèmes de santé mentale impliquent des changements dans la façon dont notre cerveau réagit à ce qui se passe à l'intérieur de notre corps. Par exemple, selon certaines théories, l'anxiété est associée à une hypersensibilité aux signaux provenant de l'intérieur du corps, tandis que la dépression est associée à une sensibilité réduite à ces signaux. Prenons un exemple extrême : les attaques de panique. Pendant les attaques de panique, les gens peuvent éprouver un léger essoufflement, mais s'ils sont hypersensibles aux événements qui se produisent dans leur corps, même un léger essoufflement peut entraîner une forte réponse émotionnelle qui ne fera qu'empirer les choses. Finalement, ils peuvent se sentir totalement incapables de respirer. En fait, les chercheurs ont constaté que les attaques de panique sont également associées à des changements dans l'activité de l'insula.

En conclusion, il y a un intérêt croissant à en apprendre davantage sur la communication entre le corps et le cerveau, étant entendu que cette communication est vitale pour de nombreux aspects de notre santé physique et mentale [4].

COMMENT L'INSULA EST-ELLE ÉTUDIÉE AUJOURD'HUI ?

Comment les chercheurs peuvent-ils comprendre les mécanismes de communication entre le corps et le cerveau ? Lorsqu'ils les étudient, ils doivent tenir compte du fait que de nombreux changements physiques se produisent dans notre corps constamment, à chaque instant (comme la pression artérielle, le rythme respiratoire, le taux de sucre dans le sang, etc.). Pour mener une expérience, les chercheurs doivent examiner un seul changement dans le corps à la fois, en le mesurant et en le contrôlant. Pour étudier l'insula, nous ne changeons qu'une seule variable à la fois (comme le taux de sucre dans le sang ou la fréquence cardiaque) tout en observant ou en manipulant l'activité de l'insula. En faisant cela, nous pouvons comprendre comment l'insula réagit aux nombreux changements dans notre corps, et comment l'insula contrôle les fonctions corporelles en réponse aux changements dans le monde qui nous entoure.

Dans mon groupe de recherche à l'Institut Weizmann des sciences, nous menons ce type d'expériences en utilisant des **modèles animaux** (souris) et des sujets humains. En utilisant les dernières technologies en matière de modèles animaux, nous pouvons « lire » et déchiffrer des modèles complexes d'activité dans l'insula, en surveillant des centaines, voire des milliers de cellules cérébrales en temps réel, lorsqu'elles

répondent à des événements externes et internes [5, 6]. Nous pouvons également contrôler l'activité de l'insula dans les modèles animaux en dictant les modèles d'activité de l'insula. Pour ce faire, nous utilisons des techniques de biologie moléculaire et de microscopie de pointe. Par exemple, nous pouvons enregistrer l'activité des cellules dans l'insula en réponse à l'odeur des aliments et identifier quelles cellules spécifiques répondent à l'odeur. Ensuite, nous pouvons activer artificiellement ces cellules insulaires spécifiques et observer tous les changements qui se produisent dans le corps. Nous espérons que de telles études fourniront des informations significatives sur la façon dont le cerveau et le corps communiquent entre eux.

De nombreuses études montrent qu'une grande variété de problèmes de santé mentale et physique sont associés à des changements dans la communication entre notre cerveau et notre corps [4]. Nous espérons que les résultats de nos recherches et de celles de beaucoup d'autres, contribueront au développement de nouveaux traitements pour les maladies qui affectent le cerveau, le corps et le lien qui les relie.

RÉFÉRENCES

- [1] Smith, G. P. 2000. Pavlov and integrative physiology. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 279:R743–55. doi: 10.1152/ajpregu.2000.279.3.R743
- [2] de Araujo, I. E., Schatzker, M., and Small, D. M. 2020. Rethinking food reward. *Annu. Rev. Psychol.* 71:139–64. doi: 10.1146/annurev-psych-122216-011643
- [3] Barrett, L. F., and Simmons, W. K. 2015. Interoceptive predictions in the brain. *Nat. Rev. Neurosci.* 16:419–29. doi: 10.1038/nrn3950
- [4] Khalsa, S. S., Adolphs, R., Cameron, O. G., Critchley, H. D., Davenport, P. W., Feinstein, J. S., et al. 2018. Interoception and mental health: a roadmap. *Biol. Psychiatry Cogn. Neurosci. Neuroimaging* 3:501–13. doi: 10.1016/j.bpsc.2017.12.004
- [5] Livneh, Y., Ramesh, R. N., Burgess, C. R., Levandowski, K. M., Madara, J. C., Fenselau, H., et al. 2017 Homeostatic circuits selectively gate food cue responses in insular cortex. *Nature.* 546:611–6. doi: 10.1038/nature22375
- [6] Livneh, Y., Sugden, A. U., Madara, J. C., Essner, R. A., Flores, V. I., Sugden, L. A. 2020. Estimation of current and future physiological states in insular cortex. *Neuron.* 105:1094–111.e10. doi: 10.1016/j.neuron.2019.12.027

VERSION FRANÇAISE

Cet article d'accès libre est une traduction avec modifications d'un article publié par Frontiers for Young Minds (doi : 10.3389/frym.2022.867981; Livneh Y (2022) How Does the Brain Connect the World Around Us to the World Inside Us? *Front. Young Minds* 10:867981).

TRADUCTION : Jean-Marie Clément, Association Jeunes Francophones et la Science

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

REMERCIEMENTS : « Jeunes Francophones et la Science » remercie

Josselin Gély et Thierry Noudimehou pour leur accueil et leur implication dans l'édition de cet article par leurs élèves.

MENTORS SCIENTIFIQUES : Ula Hibner et Catherine Braun-Breton

JEUNES ÉDITRICES ET ÉDITEURS

UGO, CLARA, HUDSON, RIDWAN, RAPHAËL, 11-12 ANS

Nous sommes un groupe de collégiens à l'« Eridan International School » de Montpellier et nous aimons bien la nature. Chacun de nous pratique un sport : tennis, aikido, rugby, athlétisme ou encore triathlon.

CHLOE, MARIEM, RODEINA, MILA, LUCCA, 11-12 ANS

Nous sommes aussi collégiens à l'« Eridan International School » de Montpellier. Chloe vit avec deux chats et une grande sœur. Mariem a beaucoup aimé cette expérience avec « Jeunes Francophones et la Science » et espère la renouveler l'année prochaine. Rodeina aime l'école qui lui permet de préparer son avenir, particulièrement les Sciences de la vie et la Physique Chimie ; elle espère être dentiste plus tard. Mila a beaucoup aimé être éditrice : elle a bien aimé lire cet article qui lui a appris beaucoup de choses. Lucca parle aussi l'espagnol et est arrivé à Montpellier il y a deux ans ; il est fils unique et possède un hamster.

ARTICLE ORIGINAL (VERSION ANGLAISE)

SOU MIS le 01 février 2022 ; **ACCEPTÉ** le 26 avril 2022.

PUBLIÉ EN LIGNE le 20 mai 2022.

ÉDITEUR : Idan Segev, Université hébraïque de Jérusalem, Israël

MENTOR SCIENTIFIQUE : Yachel Baker

CITATION : Livneh Y (2022) How Does the Brain Connect the World Around Us to the World Inside Us? Front. Young Minds 10:867981. doi: 10.3389/frym.2022. 867981

DÉCLARATION DE CONFLIT D'INTÉRÊT. L'auteur déclare que la recherche a été menée en l'absence de toute relation commerciale ou financière qui pourrait être interprétée comme un conflit d'intérêts potentiel.

DROITS D'AUTEUR

Copyright© 2022 Livneh.

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.

JEUNE EXAMINATEUR

HILLEL, 12 ANS

J'ai 12 ans, j'étudie dans une classe d'élèves doués qui combine l'art et la science. J'ai gagné l'Olympiade nationale de mathématiques, et je participe également au programme Da Vinci à l'Université de Tel Aviv. Le piano m'accompagne depuis mon plus jeune âge – je compose, joue et chante dans un ensemble musical. J'ai une grande affection pour les chiens. Il y a environ 2 mois, j'ai vécu la perte de Kenny, un chien qui était comme mon frère. Il dort depuis dans mon cœur. Je dédie ma première lecture critique à la mémoire de mon chien bien-aimé.

AUTEUR

YOAV LIVNEH

Je dirige un groupe de recherche au Département des Sciences du Cerveau de l'Institut Weizmann des Sciences en Israël. Mes étudiants et moi explorons comment le cerveau interprète les signaux de notre corps et comment le cerveau affecte la fonction corporelle. Au lycée, j'ai étudié la chimie et la musique et j'avais l'intention de devenir psychologue. Alors que j'étudiais pour un diplôme de premier cycle à l'Université hébraïque de Jérusalem, je me suis beaucoup intéressé à la façon dont l'esprit et le corps interagissent. En cours de route, je suis tombé amoureux de la biologie, et surtout de la biologie du cerveau. Aujourd'hui, je suis chercheur dans ce domaine. À peu près à la même époque, je suis également tombé amoureux de ma future épouse, Daphna Nachmani, qui est maintenant biologiste et chef d'un groupe de recherche à l'Université hébraïque de Jérusalem. Nous élevons ensemble nos enfants avec beaucoup de curiosité et d'amour.
*yoav.livneh@weizmann.ac.il