

même capables d'entraîner l'apoptose (le suicide cellulaire) des neurones.

Des perturbations de l'activité électrique des neurones ont aussi été relevées, notamment à partir d'études sur des cultures d'hippocampe (une structure cérébrale) ou de neurones du cortex frontal de souris. L'activation de réseaux entiers était parfois inhibée. Or les fonctions de traitement et de transfert de l'information des neurones reposent sur leur activité électrique...

Les nanoparticules sont également susceptibles de perturber la synthèse de neurotransmetteurs (les molécules qui assurent la communication entre neurones). Seraient notamment affectées la dopamine et la sérotonine, deux neurotransmetteurs clefs dans la régulation du sommeil et de l'humeur, et qui ont de nombreuses autres fonctions. En 2013, notre équipe a montré chez la souris que cela peut se traduire par une baisse des capacités locomotrices.

Un impact sur les maladies d'Alzheimer et de Parkinson ?

Enfin, plusieurs expériences en tube à essai ont montré que les nanoparticules peuvent accélérer l'agrégation de certaines protéines formant des fibres dans les neurones ou autour. Ce serait en particulier le cas des protéines bêta-amyloïde et alpha-synucléine, qui s'agrègent respectivement dans les maladies d'Alzheimer et de Parkinson. Les nanoparticules pourraient alors entraîner ou accélérer ces maladies, ainsi que d'autres pathologies neurodégénératives. L'effet dépendrait de leur taille et de leur concentration. À une concentration aussi faible que 20 nanomoles par litre, des nanoparticules d'or de 10 nm de diamètre multiplient par trois la vitesse d'agrégation de l'alpha-synucléine dans un tube à essai.

On manque toutefois de données pour déterminer si cette concentration est représentative de celles qu'on pourrait trouver dans le cerveau humain. Chez l'animal, les quantités détectées dans le cerveau sont généralement très faibles par rapport aux autres organes, preuve de l'efficacité des

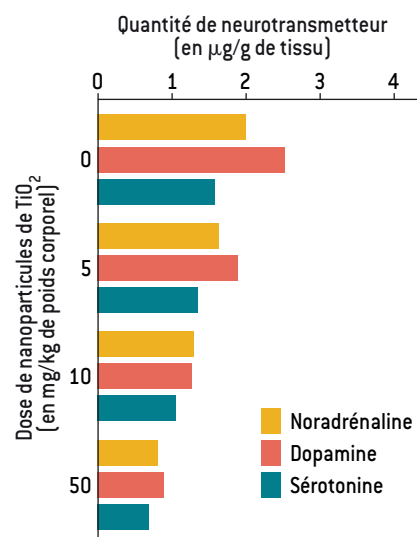
barrières physiologiques qui le protègent. Cependant, les observations *in vivo* restent peu nombreuses et ne couvrent qu'une courte période. Or quelques études suggèrent que les nanoparticules s'accumulent avec le temps, en particulier les nanoparticules métalliques. Celles-ci pourraient alors se révéler les plus délétères – et ce d'autant plus que des taux anormaux de métaux sont associés aux maladies neurodégénératives.

Le déclenchement de stress oxydant et d'inflammations cérébrales, ainsi que l'accélération de l'agrégation de protéines fibrillaires, suggèrent un impact potentiel sur les maladies neurodégénératives. Les travaux de l'équipe de Lilian Calderón-Garcidueñas, de l'Institut national de pédiatrie à Mexico, soutiennent cette hypothèse : des cas de maladies d'Alzheimer et de Parkinson chez des individus jeunes semblent liés à la présence de nanoparticules dans les polluants atmosphériques.

Au moment où l'usage des nanoparticules se généralise, les travailleurs comme les consommateurs se trouvent de plus en plus exposés. Dès lors, il convient d'évaluer de façon spécifique l'impact potentiel des nanoparticules sur le cerveau, en y mettant les moyens nécessaires. Sans attendre des études épidémiologiques, on devrait recourir à des modèles animaux reproduisant des scénarios d'exposition chronique prolongée, pour lesquels les données manquent. Aujourd'hui, de nombreux points restent à confirmer et à préciser, mais on sait déjà que les nanoparticules peuvent avoir divers effets nocifs, même en assez faible quantité.

De multiples informations pourraient aussi venir de la nanomédecine, qui a notamment identifié les voies d'entrée des nanomatériaux dans le cerveau et les paramètres physico-chimiques optimisant cette entrée. Plus généralement, tous les acteurs publics et privés liés au domaine des nanosciences doivent s'unir pour équilibrer au mieux le rapport bénéfices/risques inhérent à tout nouveau domaine. ■

Anna BENCSIK est directrice de recherche au Laboratoire de Lyon de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses).



CERTAINS NEUROTRANSMETTEURS, des substances qui assurent la communication entre neurones, se raréfient quand la concentration cérébrale de nanoparticules augmente. C'est ce qu'ont montré des expériences sur la souris, avec des nanoparticules de dioxyde de titane (TiO₂). La mémoire et les capacités locomotrices peuvent alors être affectées.

BIBLIOGRAPHIE

Avis et rapport de l'Anses relatifs à l'évaluation des risques liés aux nanomatériaux - enjeux et mise à jour des connaissances, Anses, 2014.

A. Bencsik, Le cerveau est-il à l'abri d'un impact d'une exposition à des nanomatériaux ?, *Biologie Aujourd'hui*, vol. 208, pp. 159-165, 2014.

Y. D. Alvarez et al., Influence of gold nanoparticles on the kinetics of alpha-synuclein aggregation, *Nano Letters*, vol. 13, pp. 6156-6176, 2013.

K. Andrieux et P. Couvreur, Des nanomédicaments pour le cerveau, *Pour la Science*, n° 432, octobre 2013.

Comment ma mère a survécu au numérique

par Thierry Viéville, sur *Intelligence mécanique*

« **T**a sœur a beau m'avoir expliqué dix fois : je n'arrive pas à faire gôgole. » C'est une petite dame de 89 ans qui me parle, ma mère. Avant, magnétoscope et autres appareils programmables étaient restés pour elle inaccessibles. Alors avec le numérique, la voilà bien mal partie.

Mais un jour, j'en ai eu assez de lui répéter que *Google* ne se prononce pas gôgole, et que *Word* est un logiciel, et que... stop ! J'ai arraché la connexion Internet de son ordinateur. Et son monde a changé.

Elle : « Mais l'ordinateur n'aura plus de courant sans le câble Internet ? ». Moi : « Si on regarde bien, il y a un deuxième câble branché sur la prise... ». Et nous voilà en train de regarder tous les câbles, boutons et prises de l'appareil ; d'aborder les choses par un aspect inattendu, mais relié à ce qui lui est familier. Ma mère n'a pas besoin de savoir tout ça, me direz-vous. Mais ça a été sa demande pour s'approprier cette machine jusque-là magique. Et la conclusion est tombée : « C'est bien moins compliqué que mon ancienne machine à laver ! »

Ma mère de reprendre : « Est-ce que j'ai toujours gôgole avec l'Internet coupé ? » « Essayons pour voir ». Surprise : gôgole était toujours là – dans la mémoire cache du navigateur. Mais surtout, elle avait ouvert directement *Google*. En lui laissant le temps d'explorer et en lui proposant un premier défi facile, les blocages s'estompaient.

L'ordinateur est alors devenu pour ma mère un objet de curiosité : découvrir ce qui était dedans ou bien « ailleurs », distinguer les applications des données, comprendre qu'un navigateur permet d'accéder à des pages Web, qui sont ailleurs, mais aussi gardées localement en mémoire, etc. Bref, nous avons passé du temps non pas à « apprendre un mode d'emploi », mais à nous amuser à « comprendre comment cela fonctionne ».

Je n'ai pas la panacée, mais une méthode générale : expliquer un concept numérique en faisant l'analogie avec une situation du monde physique (courrier postal contre paquets de données, adresses IP en regard des adresses postales, rangement des fichiers dans des dossiers numériques ou en papier, etc.).

J'ai perçu un basculement de l'abscons vers l'accessible quand les mots évoqués ci-dessus ont pris un sens précis, c'est-à-



Un enjeu pour notre société : donner aux personnes âgées l'accès au numérique.

dire sont devenus des notions, des termes appropriés pour nommer des objets numériques bien définis.

À la fin, ma mère m'a dit : « Finalement, tu ne m'as toujours pas [ré[ré]] expliqué comment se servir de gôgole ? Mais je crois que maintenant, je vais pouvoir me débrouiller ! »

Puis avec ses 90 ans sont arrivées les tablettes tactiles. Plus de clavier, les doigts ont dû apprendre à former des mots en caressant des lettres sur la vitre. Il a fallu que la main apprenne à ne pas toucher l'écran inutilement, car tout geste est devenu performatif. L'apprentissage sensorimoteur des gestes de manipulation, si facile chez les jeunes enfants, doit être intégré très

progressivement par les personnes âgées. On a fait des exercices de dessin avec le doigt et des séquences de clics, comme des gammes au piano. Le point clé est de bien distinguer quand c'est le cerveau qui se trompe de quand c'est la main qui est maladroite.

Météo, démarches administratives, émissions de télévision à la demande, photos de familles, vieux films, lecture... Bien séparer le savoir du savoir-faire a permis que la tablette devienne pour ma mère un trésor de possibilités, une fenêtre sur le monde. Sans comprendre comment cela fonctionne, comment inventer ses propres usages ?

Cela montre en creux que si les jeunes enfants sont doués pour manipuler les outils numériques, il n'y a aucune raison qu'ils puissent spontanément les comprendre. Veut-on faire des enfants des singes savants, consommateurs dociles des produits numériques ? Et des personnes âgées des laissées pour compte ? Le monde est devenu numérique et nous devons tous en comprendre ses fondements scientifiques et techniques, pour y vivre harmonieusement et en profiter réellement. N'en déplaise à ceux qui pensent encore qu'il ne sert à rien d'apprendre à chaque enfant de France les sciences et techniques informatiques. ■



Thierry VIÉVILLE
est directeur de recherche
en neurosciences
computationnelles
à l'Inria (à Sophia-Antipolis)
et auteur du blog
Intelligence mécanique
(www.scilogs.fr/intelligence-mecanique).

Retrouvez tous nos blogueurs sur
www.scilogs.fr et suivez-les sur les réseaux sociaux.