



FAUDRA-T-IL AUGMENTER ARTIFICIELLEMENT NOTRE ALTRUISME pour que nous mettions en place des actions d'envergure suffisante pour préserver la planète ? C'est en tous cas ce que suggèrent certains transhumanistes, qui prônent une « amélioration morale » de l'homme.

La conciliation entre bien-être individuel et collectif (celui des humains mais aussi celui des autres êtres vivants) s'est tout de suite imposée comme un problème de fond. Comment prendre en compte les plaisirs et les souffrances de tous sans sacrifier son propre bien pour celui des autres ? Les premiers théoriciens du transhumanisme, d'inspiration anarcho-capitaliste et libertarienne, compartaient sur l'émergence d'un ordre spontané. Mais à la fin des années 1990, un revirement s'est produit, lié à la crise économique, politique et écologique, et à l'échec des systèmes modernes, en particulier les démocraties libérales occidentales, à réguler les processus d'industrialisation et de mécanisation qui épuisent les ressources de la planète.

Ainsi, le cyborg heureux – et libre – des premiers pas du transhumanisme laisse la place au cyborg vertueux (selon la terminologie du sociologue américain James Hughes), soumis à divers impératifs éthiques. Le débat sur l'amélioration morale se répand dans une partie du mouvement, notamment chez les universitaires d'Oxford. Les approches sont plus ou moins modérées, certains prônant une amélioration morale « à la carte », où chacun serait libre de développer telle ou telle valeur. De vives critiques sont émises, y

compris par certains bioéthiciens partisans du transhumanisme, tel John Harris, de l'Université de Manchester, qui souligne la nécessité du libre arbitre dans la morale humaine. La proposition d'I. Persson et J. Savulescu n'est pas majoritaire dans le mouvement, et même eux reconnaissent en conclusion de leur ouvrage qu'« une réelle amélioration morale serait pratiquement impossible à l'heure actuelle et pourrait rester trop longtemps à un niveau insuffisant de développement, ou ne pas pouvoir être appliquée à une assez large échelle, pour nous aider à faire face aux problèmes catastrophiques décrits ». Néanmoins, pour eux, l'urgence de l'élaboration d'un modèle de société durable justifie un examen approfondi de cette conception extrême de l'amélioration morale.

Or cette dernière est dangereuse. Dans un monde où tous les humains seraient altruistes, un tricheur aurait un pouvoir de nuisance considérable. Il faudrait donc non seulement contraindre tous les citoyens à se plier à l'amélioration morale, mais aussi adopter des formes poussées de surveillance et de contrôle, au prix d'une remise en question des droits tels que la vie privée. Ainsi, l'amélioration morale risque de conduire à une dérive totalitaire. Pour éviter de détruire

le monde, on devrait renoncer aux valeurs des démocraties libérales. Des substances pharmacologiques ou des manipulations génétiques nous inculqueraient les « valeurs » qui nous aideraient à le tolérer. Et cela nécessiterait de confier la détermination de ces valeurs à une assemblée de « philosophes » qui auraient le droit de décider pour tous. Les critères qui présideraient à leur nomination semblent impossibles à établir.

En outre, un tel système risquerait d'aboutir à une vision conformiste de la morale. Déjà, certains transhumanistes font référence à des valeurs religieuses (en particulier bouddhiques) ou traditionnelles, telles que la fidélité dans le couple. De façon générale, les conséquences des techniques d'amélioration morale, qui impliquent de fortes contraintes, restent largement imprévisibles...

Marina MAESTRUTTI est maître de conférences en sociologie à l'Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne et membre du CETCOPRA (Centre d'études des techniques, des connaissances, des pratiques).

 Réagissez au
Point de vue sur
www.pourlascience.fr

QUESTIONS OUVERTES

Les nanoparticules nuisent-elles au cerveau ?

Nous sommes de plus en plus exposés à des particules nanométriques produites par l'industrie. Or des expériences sur des animaux suggèrent que de telles nanoparticules risquent d'atteindre le cerveau et de lui être nocives.

Anna BENCSIK

La production mondiale de nanomatériaux – des matériaux comprenant des particules de taille nanométrique (10^{-9} mètre), ou nanoparticules – a été multipliée par dix entre 2002 et 2011. En à peine une décennie, les nanomatériaux sont passés de la recherche à la commercialisation. Les propriétés obtenues sont variées : transparence, légèreté, résistance, durabilité... Dès lors, ils sont intégrés dans de nombreux produits, issus de presque tous les secteurs. On trouve par exemple des nanoparticules dans les composants électroniques des téléphones portables, les bétons, les peintures, les emballages, les catalyseurs, les agents dépolluants, les pales d'éoliennes, certaines boissons... Ces nanoparticules peuvent être libres dans des poudres, en suspension dans un fluide (par exemple dans une sauce, une crème ou une peinture), ou piégées dans une matrice (de plastique, de verre, de béton, etc.).

Les nanomatériaux peuvent aider à répondre à de grands enjeux sociétaux, tels que la transition énergétique, et alimentent une industrie florissante, pourvoyeuse d'emplois. Cependant, ils sont soupçonnés de nuire à la santé, notamment au niveau cérébral. En s'appuyant sur les publications scientifiques cumulées depuis une dizaine d'années, il est aujourd'hui possible de faire un premier état des lieux sur la neurotoxicité potentielle des nanomatériaux.

Les nanomatériaux ne sont pas toujours faciles à tracer, mais il y a eu des progrès récents (voir l'encadré page 16). En France, depuis le 1^{er} janvier 2013, les industriels sont obligés de déclarer leur présence dans les produits. Ces données facilitent l'inventaire des nanoparticules introduites sur le territoire national, même si elles comportent des faiblesses. En outre, en Europe, la présence de nanoparticules doit obligatoirement être indiquée par un étiquetage pour les cosmétiques et les biocides (pesticides, désinfectants, etc.) depuis 2013. Cette obligation devrait être

nanomatériaux, ces derniers n'étant répan- dus que depuis une dizaine d'années. Pour évaluer leur dangerosité, on se fonde alors plutôt sur des expériences de laboratoire, réalisées *in vitro* sur des cellules isolées ou sur des organes mis en culture, ainsi qu'*in vivo* chez l'animal. Et ces expériences donnent quelques motifs d'inquiétude – même s'il faudra beaucoup d'études complémentaires pour évaluer précisément le danger pour la santé humaine.

De par leur petite taille, les nanoparticules pénètrent facilement dans l'organisme, après avoir été avalées, étalées sur la peau ou inhalées (quand elles sont mises en suspension dans l'air, par exemple par un procédé d'usinage). Plusieurs études ont révélé leur présence dans différents

AVALÉES, INHALÉES OU ÉTALÉES SUR LA PEAU, les nanoparticules pénètrent facilement dans l'organisme.

étendue aux produits du secteur alimentaire (nourriture, additifs, matériaux en contact avec les denrées alimentaires) en 2015.

Les études toxicologiques classiques ne semblent pas adaptées à l'évaluation de la toxicité des nanomatériaux. Il est en particulier difficile d'établir la relation entre dose et effet pour déterminer une exposition maximale autorisée, car l'effet dépend de nombreux paramètres autres que la concentration : taille des nanoparticules, morphologie, propension à s'agréger, solubilité, etc. En outre, il est trop tôt pour qu'une étude épidémiologique permette d'identifier un lien causal entre un signe de nocivité et l'exposition aux

organes. Ces travaux soulignent l'atteinte des voies respiratoires et cardio-vasculaires, en particulier dans le cadre d'une exposition professionnelle par inhalation. Les nanoparticules peuvent alors causer des inflammations ou des infections pulmonaires graves, ainsi que des pathologies respiratoires chroniques, telles que l'asthme ; certaines passent dans le sang et atteignent divers autres organes.

Très peu d'études se sont intéressées au cerveau. Pourtant, ce dernier est particulièrement sensible à des stress tels qu'une hypoxie (un manque d'oxygène), une infection, une lésion mécanique ou une inflammation. Plusieurs protections



LA LÉGISLATION EUROPÉENNE IMPOSE d'indiquer par une étiquette la présence de nanoparticules pour plusieurs types de produits, tels que les cosmétiques et les biocides.

l'en prémunissent, notamment la barrière hémato-encéphalique, une couche de cellules et de protéines qui entourent les vaisseaux sanguins et les isolent du reste du cerveau, empêchant les agents pathogènes de s'y propager. En outre, les neurones se régénèrent très peu, ce qui accroît la vulnérabilité du cerveau en cas de lésion.

Les études réalisées fournissent tout de même déjà des données clés. Chez l'animal, le passage de nanoparticules dans le cerveau a été mis en évidence pour des nanoparticules de types variés (argent, oxydes de fer, iridium, carbone, polystyrène, etc.) et de tailles allant de 2 à 200 nanomètres (nm).

L'importance de cette pénétration est cependant très variable. Elle dépend de plusieurs paramètres, tels que la voie d'exposition (l'inhalation est la plus efficace), la taille (en moyenne, les particules les plus pénétrantes ont un diamètre moyen compris entre 30 et 60 nm) ou la forme (les nanosphères semblent plus nocives que les nanobâtons ou nanotubes, même si on ne comprend pas encore bien pourquoi). On peut aussi augmenter notablement le franchissement de la barrière hémato-encéphalique

en habillant les nanoparticules avec des molécules particulières, propriété que la nanomédecine cherche à exploiter pour acheminer des médicaments au cerveau, par exemple afin de traiter des tumeurs.

Les chemins vers le cerveau

Comment les nanoparticules arrivent-elles au cerveau ? Elles passent à la fois par la voie nerveuse et la voie sanguine. En 2004, l'équipe de Günter Oberdörster, à l'Université de Rochester aux États-Unis, a reconstitué le chemin emprunté lors d'une inhalation : dans son expérience, des nanoparticules de carbone 13 d'environ 35 nm pénétraient dans les terminaisons nerveuses tapissant l'épithélium olfactif (dans les fosses nasales), puis remontaient le long des prolongements neuronaux et entraient dans le cerveau *via* le bulbe olfactif. Des nanoparticules passent aussi par les poumons, en se répandant d'abord dans le sang puis en franchissant la barrière hémato-encéphalique. Certaines pourraient aussi se propager directement par les ter-

minaisons nerveuses sensorielles présentes au niveau des bronches, des bronchioles et des alvéoles pulmonaires, mais cela reste à prouver.

Dans le cas d'une ingestion, les études suggèrent que les nanoparticules pénètrent dans le cerveau après un passage préalable dans la circulation sanguine. Mais il est aussi possible qu'elles y entrent *via* les nombreuses terminaisons nerveuses qui tapissent l'appareil digestif. Quant à la voie cutanée, c'est la moins favorable à une pénétration dans le cerveau.

Examinons plus en détail comment les nanoparticules percent les barrières entre la circulation sanguine et le reste de l'organisme. Le franchissement des cellules dites endothéliales, qui isolent les vaisseaux sanguins de l'intestin, de la peau ou des poumons, met en œuvre un processus nommé transcytose : les nanoparticules traversent ces cellules à bord de petites vésicules, puis sont relâchées de l'autre côté. Ce même processus serait utilisé pour franchir la barrière hémato-encéphalique et passer dans le cerveau.

On l'a montré *in vitro* et *in vivo* chez la souris. En 2009, Anja Zensi, de l'Université Goethe à Francfort, et ses collègues ont ainsi injecté des nanoparticules fonctionnalisées (c'est-à-dire habillées de molécules particulières, qui facilitent leur pénétration) par voie intraveineuse à des rongeurs ; certaines de ces nanoparticules ont été détectées dans les cellules endothéliales de la barrière hémato-encéphalique et dans les neurones respectivement 15 et 30 minutes après l'injection. En outre, si les nanoparticules

se contentaient de se glisser entre les cellules endothéliales, seules celles de taille inférieure à 4-6 nm pourraient atteindre le cerveau ; or on y a détecté des particules plus grosses.

Dans le cerveau, les nanoparticules peuvent pénétrer dans les cellules de tous types : on en a mis en évidence dans les neurones, les astrocytes (qui assurent diverses fonctions, fournissant par exemple des nutriments aux neurones) et les cellules microgliales (des cellules immunitaires qui protègent le système

nerveux des pathogènes). À l'intérieur de la cellule, les analyses au microscope électronique suggèrent que la capacité de pénétration des nanoparticules dépend principalement de leur taille et de leur habillage de surface, et que certaines s'insèrent dans tous les compartiments cellulaires. On en trouve par exemple dans le cytoplasme et dans le noyau.

Les nanoparticules peuvent alors avoir des effets sur la morphologie, le fonctionnement et la viabilité des cellules nerveuses. Par exemple, certaines expériences ont mis

en évidence une détérioration du cytosquelette cellulaire par les nanoparticules. De même, plusieurs études ont montré que les nanoparticules peuvent entraîner une augmentation du stress oxydatif (une fabrication par la cellule de molécules très réactives, qui oxydent et dégradent d'autres molécules) et des inflammations cérébrales. Ces deux phénomènes sont susceptibles d'endommager les neurones et d'accélérer les maladies neurodégénératives, telles que les maladies d'Alzheimer ou de Parkinson. Les nanoparticules paraissent

Le difficile traçage des nanomatériaux

Plusieurs sources d'information fournissent une quantification approximative de la production de nanomatériaux et de l'importance de leur pénétration dans les produits de consommation courante.

LES DÉCLARATIONS DES INDUSTRIELS

La France est le seul pays au monde à avoir mis en place une déclaration obligatoire des nanomatériaux. Depuis le 1^{er} janvier 2013, les industriels doivent publier une déclaration sur un site Internet (www.r-nano.fr) dès lors qu'ils fournissent au moins 100 grammes de substances à l'état nanoparticulaire. Le dernier rapport de synthèse annuel recense 400 000 tonnes de telles substances mises sur le marché en France en 2013.

Ce recensement représente une avancée majeure, mais il comporte certaines faiblesses. Ainsi, l'argent nanométrique en est quasi absent, alors que c'est l'une des nanoparticules les plus utilisées selon d'autres estimations. Pour l'essentiel, il ne serait pas importé en tant que tel, mais déjà intégré aux produits, par exemple dans des appareils électroménagers. Or dans ce

cas, l'importateur n'est pas obligé de déclarer les nanomatériaux contenus dans son produit. En outre, ce recensement ne permet pas d'identifier précisément les produits commercialisés contenant les nanomatériaux déclarés. Des démarches ont été engagées à l'échelle européenne pour y remédier.

LES DONNÉES DU PEN

Le PEN (*Project in Emerging Nanotechnologies*) est un organisme américain qui inventorie des produits de consommation courante contenant des nanomatériaux. Sur le marché mondial, 54 produits ont été recensés en 2005, 803 en 2008 et 1628 en 2013, indiquant une croissance exponentielle.

Parmi les 1628 produits, 440 sont commercialisés en Europe, dont 32 en France. Ce nombre est sous-estimé, puisque selon un rapport de l'Anses, 246 produits ont été identifiés

en 2010 sur le marché français et 930 en 2013. Cette année-là, les produits contenant le plus de nanoparticules appartenaient aux domaines de la santé et du bien-être, de la maison et du jardin, de l'alimentation et des boissons, puis au secteur automobile.

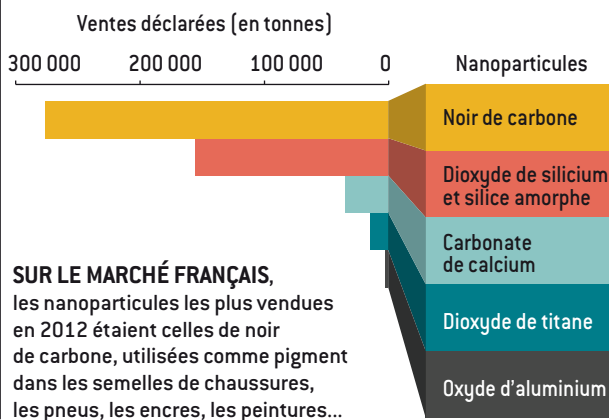
LES DONNÉES DES ASSOCIATIONS

Certaines associations, telles que Avicenn, mettent de nombreuses informations à disposition du public.

La difficulté est que les différentes estimations divergent parfois de plusieurs ordres de grandeur. Divers paramètres

l'expliquent, tels qu'une définition variable des nanomatériaux (dans celle établie par la Commission européenne en 2011, au moins la moitié des particules d'un matériau doivent présenter une ou plusieurs dimensions externes comprises entre 1 et 100 nanomètres pour que ce dernier soit qualifié de nanomatériau).

La terminologie et les estimations restent donc à harmoniser. En outre, il manque un site officiel d'informations français ou européen décrivant les produits déjà mis sur le marché, ainsi que toute l'actualité réglementaire, scientifique, technique et industrielle.



© Données issues du bilan 2013 des déclarations des industriels, disponible sur www.r-nano.fr

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

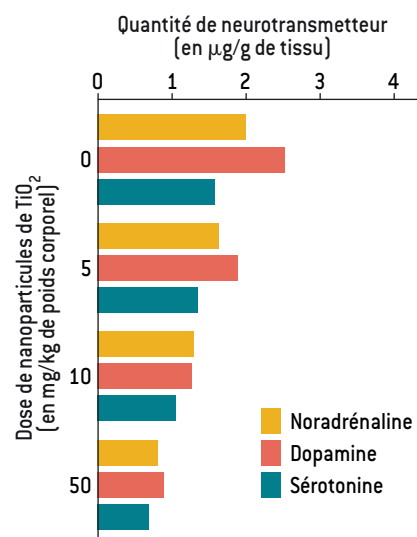
barrières physiologiques qui le protègent. Cependant, les observations *in vivo* restent peu nombreuses et ne couvrent qu'une courte période. Or quelques études suggèrent que les nanoparticules s'accumulent avec le temps, en particulier les nanoparticules métalliques. Celles-ci pourraient alors se révéler 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.

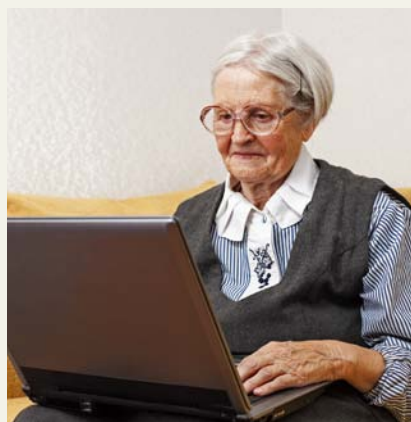
Elle : « Mais l'ordinateur n'aura plus de courant sans le câble Internet ? ». Moi : « Si on regarde bien, il y a un deuxième câble branché sur la prise... ». Et nous voilà en train de regarder tous les câbles, boutons et prises de l'appareil ; d'aborder les choses par un aspect inattendu, mais relié 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.