

La danse de la conscience dans un cerveau synthétique

Un système artificiel complexe pourrait-il avoir une conscience ? La question est fascinante. Un tel système ne sera pas construit dans les prochaines décennies, ni dans les prochains siècles, mais une simple expérience de pensée montre qu'un cerveau artificiel correctement organisé aurait le même type de conscience qu'un être humain.

Considérons un système constitué de puces en silicium qui ont la même organisation et le même fonctionnement que les neurones de notre cerveau. Chaque puce fait exactement ce que fait son analogue naturel, tout en étant reliée de la même manière aux éléments environnants. Le comportement de ce système artificiel sera exactement le même que le nôtre. Sera-t-il conscient de la même manière que nous ?

Supposons qu'il ne le soit pas : soit il a une conscience différente (il ressent du bleu lorsque nous ressentons du rouge), soit il n'a pas de conscience du tout. Nous allons examiner le premier cas (le raisonnement est le même dans les deux cas).

Comme les puces et les neurones ont les mêmes fonctions, ils sont interchangeables, à condition d'avoir une interface adaptée. Les puces peuvent donc remplacer les neurones, et l'on produit un continuum de situations où une proportion croissante de neurones est remplacée par des puces. Dans ce continuum, la conscience du système change aussi. Nous pourrions remplacer

tous les neurones de notre cortex visuel par des puces. Le cerveau résultant, dont le cortex visuel est artificiel, a une conscience différente de l'original : là où précédemment nous voyions du rouge, nous verrions du violet.

Imaginons alors que nous relions les deux cortex visuels au cerveau, par l'intermédiaire d'un commutateur à deux positions. Lorsque le commutateur est dans une position, nous utilisons le cortex visuel naturel ; dans l'autre position, c'est le cortex artificiel qui est activé. Notre sensation changerait alors du rouge au violet, ou réciproquement. Lorsqu'on actionne le commutateur de manière répétitive, nos sensations "dansent" entre les deux états conscients différents (rouge et violet).

Comme l'organisation de notre cerveau ne change pas, il ne peut y avoir de changement comportemental quand on bascule le commutateur. Par conséquent, lorsqu'on nous demande ce que nous voyons, nous disons que rien n'a changé : nous ne voyons que du rouge, bien que les deux couleurs dansent sous nos yeux. Cette conclusion est absurde : l'hypothèse qu'un système artificiel, dont l'organisation et le fonctionnement sont les mêmes que ceux d'un cerveau neuronal, a des sensations conscientes différentes est donc absurde. Les systèmes qui ont la même organisation ont donc la même conscience.



Si un cerveau synthétique en tout point semblable au nôtre avait une conscience différente, une pomme pourrait nous apparaître alternativement rouge ou bleue.

leurs dansent sous nos yeux. Cette conclusion est absurde : l'hypothèse qu'un système artificiel, dont l'organisation et le fonctionnement sont les mêmes que ceux d'un cerveau neuronal, a des sensations conscientes différentes est donc absurde. Les systèmes qui ont la même organisation ont donc la même conscience.

L'information, ou du moins certaines informations, posséderait donc deux aspects de base : l'un physique et l'autre intime. Cette hypothèse est un principe fondamental, sur lequel reposeraient les relations qui unissent les opérations physiques et la conscience. Partout où nous trouvons de la conscience, elle est l'un des aspects d'un état d'information, dont l'autre aspect est codé dans un processus physique à l'intérieur du cerveau. Il faudrait étoffer cette proposition pour en faire une théorie satisfaisante, mais elle remplit convenablement les principes précédemment mentionnés (des systèmes qui ont la même organisation matérialisent la même information, par exemple) et elle expliquerait de nombreux aspects de la conscience.

L'idée est au moins compatible avec plusieurs autres, telle la proposition du physicien John Wheeler, selon laquelle l'information est un fondement de la physique de l'Univers. Les lois de la physique pourraient être reformulées en termes d'information : les lois physiques et psychophysiques se rejoindraient alors. Les théories de la physique et de la conscience pourraient même être réunies en une super théorie de l'information.

La généralité excessive du concept d'information pose toutefois un problème : un thermostat, qui contient de l'information, a-t-il une conscience ? Il y a au moins deux réponses possibles. Nous pourrions inclure dans les lois fondamentales le fait qu'une partie seulement de l'information a un aspect de conscience, peut-être en fonction du traitement physique qu'elle subit. Nous pourrions, au contraire, admettre que toute information a un aspect de conscience : lorsqu'il y a un traitement complexe de l'information, il y a une conscience complexe, et lorsqu'il y a un traitement simple de l'information, il y a une conscience simple. Dans ce cas, même un thermostat pourrait avoir une conscience, mais elle serait beaucoup plus simple que même la conscience fondamentale que nous avons d'une couleur, et il n'aurait aucune émotion ni pensée associée. Une telle idée semble bizarre, mais si la conscience est vraiment fondamentale, elle doit être largement répandue. De ces deux possibilités, nous devrions choisir celle qui s'intégrerait dans la théorie la plus puissante.

Ces idées produiront-elles une théorie plus vaste, qui prédira la structure précise de notre conscience à partir des

mécanismes physiques de notre cerveau ? Si le projet échoue et que mes idées se révèlent fausses, d'autres idées seront explorées, et d'autres théories fondamentales seront sans doute élaborées. Nous connaissons peut-être un jour le plus grand mystère de l'esprit.

David CHALMERS est membre du département de philosophie de l'Université de Santa Cruz.

Daniel DENNETT, *La conscience expliquée*, Éditions Odile Jacob, 1993.

Roger PENROSE, *Les ombres de l'esprit*, InterÉditions, 1995.

David CHALMERS, *Absent Qualia, Fading Qualia, Dancing Qualia*, in *Conscious Experience*, sous la direction de Thomas Metzinger, Ferdinand Schöningh, 1995.

Explaining Consciousness : The «Hard Problem», numéro spécial du *Journal of Consciousness Studies*, vol. 2, n° 3, automne 1995.

Daniel PINKAS, *La matérialité de l'esprit*, Éditions La Découverte, 1995.

The Nature of Consciousness : Philosophical and Scientific Debates, sous la direction de Ned Block, Owen Flanagan et Güven Güzeldere, MIT Press (à paraître).

La mucoviscidose

MICHAEL WELSH • ALAN SMITH

Cette maladie mortelle est due à une anomalie génétique, dont une des conséquences est la production de sécrétions très visqueuses qui obstruent notamment les voies respiratoires.

« **M**alheur à l'enfant qui laisse un goût de sel lorsqu'on l'embrasse sur le front. On lui a jeté un sort, et il mourra bientôt. » Ce dicton d'Europe du Nord décrivait correctement la mucoviscidose ; il reconnaissait que les jeunes enfants dont la sueur était excessivement salée étaient condamnés.

Le front salé est la plus bénigne des manifestations de cette anomalie héréditaire qui aboutit surtout à la destruction des poumons et à des dysfonctionnements graves du pancréas, des intestins et du foie. Au cours des dernières décennies, les progrès thérapeutiques ont permis à plus de la moitié des enfants atteints de vivre jusqu'à l'âge de 20 ans, et même au-delà. Malheureusement, aucun des traitements disponibles ne corrige encore l'anomalie biochimique ni n'efface l'angoisse d'une disparition prématurée.

Au début des années 1980, les généticiens ont tenté d'identifier l'anomalie responsable de la mucoviscidose. Après presque dix années d'efforts, ils ont isolé le gène atteint et localisé la mutation qui cause le plus souvent la maladie. On ignorait alors la fonction de la protéine normalement codée par le gène muté chez les enfants malades, mais on sait aujourd'hui que cette protéine est un canal par lequel les ions chlorure entrent dans les cellules et en sortent (le sel est constitué d'ions sodium et d'ions chlorure). Les généticiens ont également expliqué pourquoi l'anomalie génétique bloque le transport des ions chlorure ; aujourd'hui, ils cherchent à comprendre comment ce blocage déclenche les signes cliniques de la mucoviscidose. Comme on l'espérait, ces découvertes ouvrent de nouvelles perspectives thérapeutiques. L'une d'entre elles guérira-t-elle un jour les enfants atteints ?

Ces progrès sont dus en grande partie aux médecins qui ont collecté au chevet des malades les premiers indices sur la nature de la mucoviscidose : pendant des décennies, la recherche clinique a fourni davantage d'informations sur cette maladie que ne l'a fait la recherche biochimique.

Ainsi, en 1938, à l'Université Columbia, Dorothy Andersen a autopsié des nourrissons et des enfants, et elle a décrit avec précision les symptômes de la mucoviscidose et les anomalies des organes : la destruction quasi systématique du pancréas (même chez les nourrissons), des anomalies des poumons et des infections pulmonaires.

À la fin des années 1940, les médecins observèrent également que des sécrétions très visqueuses bouchent progressivement l'ensemble des canaux présents dans les organes. Ainsi, dans le pancréas, les canaux assurant l'approvisionnement des intestins en enzymes digestives sont presque toujours obstrués : l'organisme ne peut plus dégrader les aliments et en extraire les substances nutritives.

Les poumons, les bronches et les bronchioles sont également encombrés. Normalement, la surface interne des bronches est recouverte d'une mince couche de mucus qui piège les particules inhalées et les propulse jusque dans la gorge, d'où elles sont expectorées. Chez les patients atteints de mucoviscidose, le mucus épais est difficile à expulser, et le rétrécissement des voies bronchiques diminue la capacité respiratoire. De surcroît, les bactéries qui stagnent dans les voies respiratoires déclenchent des infections récurrentes qui endommagent le tissu pulmonaire, car les cellules immunitaires chargées de combattre les micro-organismes infectieux sécrètent des enzymes et des

composés qui détruisent le tissu pulmonaire. La destruction progressive des bronches par ces infections chroniques et l'obstruction des voies respiratoires supérieures aboutissent à une défaillance respiratoire.

En 1946, on entrevit les bases génétiques de la maladie en étudiant sa transmission héréditaire dans les familles atteintes : la mucoviscidose semblait être une maladie récessive due à la mutation d'un seul gène. Un nourrisson recevant de ses parents une copie anormale du gène en cause et une copie normale produit la protéine normale et n'est pas malade (le gène normal l'emporte sur le gène muté) ; en revanche, un enfant recevant les deux versions anormales du gène souffre de mucoviscidose.

Aujourd'hui, on sait que la mucoviscidose est l'une des maladies génétiques les plus fréquentes et qu'elle touche surtout les Blancs. Environ cinq pour cent sont des porteurs asymptomatiques d'un seul gène anormal : leurs cellules contiennent une version normale et une version anormale du gène incriminé. Un enfant sur 2 500 acquiert deux gènes anormaux et est atteint de mucoviscidose. On estime à 6 000 le nombre de personnes atteintes en France, et à 200 le nombre de nouveau-nés qui naissent, chaque année, atteints de la maladie.

Une vague de chaleur révélatrice

En 1953, à New York, une vague de chaleur conduisit fortuitement à la découverte d'un diagnostic de la mucoviscidose. De nombreux enfants atteints de mucoviscidose ayant été conduits à l'hôpital parce qu'ils semblaient se déshydrater beaucoup plus vite que les autres enfants ; Paul di Sant' Agnese

et ses collègues de l'Université Columbia constatèrent que ces enfants perdaient un excès de sel dans leur sueur. Pendant plusieurs années, on ne comprit pas la cause de cette anomalie, mais on mit à profit l'observation en élaborant un test de dépistage qui mesure la concentration en ions chlorure dans la transpiration.

Ce test a permis de faire des diagnostics plus précoces et plus précis, et de mieux adapter les traitements. Ainsi le dysfonctionnement pancréatique n'est-il plus que rarement mortel, parce que l'on sait administrer des enzymes digestives au cours des repas. Les anomalies digestives étant compensées, 90 pour cent des incapacités ou des décès des patients atteints de mucoviscidose sont dus, aujourd'hui, aux troubles pulmonaires.

Contre ces derniers, plusieurs traitements sont également apparus. Les techniques les plus anciennes sont le drainage postural et la percussion thoracique : les patients étant allongés, la tête légèrement en contrebas, on leur tapote le dos ou la poitrine afin de décoller le mucus contenu dans les voies respiratoires. En outre, on administre des antibiotiques afin de combattre les infections à répétition (sans toutefois parvenir à les éliminer). Il y a près de deux ans, un nouveau traitement est apparu : on fait inhaler aux patients une préparation contenant l'enzyme DNase, qui liquéfie le mucus en hydrolysant les brins d'ADN longs et collants libérés par les cellules mortes.

L'étude biochimique de la mucoviscidose a progressé plus lentement

que l'étude clinique, mais le rythme s'est accéléré entre 1980 et 1985, quand on a compris que l'épithélium de tous les organes atteints est anormal (un épithélium est une couche de cellules qui produit souvent du mucus, sépare différents compartiments de l'organisme et tapisse notamment les intestins et les bronches). Rapidement on a compris que certains canaux chlore du tissu épithélial de ces patients fonctionnent mal.

Paul Quinton, de l'Université de Riverside, a montré que les épithéliums qui tapissent les conduits des glandes sudoripares n'extraient pas suffisamment d'ions chlorure de ces glandes. On tenait enfin l'explication de la saveur anormalement salée de la sueur des patients atteints de mucoviscidose. Normalement, la

1. EN TAPOTANT sur la poitrine de son enfant atteint de mucoviscidose, cette femme décolle le mucus qui encombre les voies respiratoires (le boîtier blanc sur le bras de l'enfant contient un dispositif de perfusion intraveineuse d'antibiotiques, qui combattent les

infections pulmonaires). À mesure qu'ils découvrent les causes moléculaires de la maladie, les biologistes en précisent les mécanismes ; ils espèrent trouver des médicaments qui empêcheraient l'obstruction des voies respiratoires.

