

des instructions. Grâce au langage, de telles instructions peuvent être transmises et exécutées.

Cependant, l'être humain manipule toujours les nombres de façon maladroite et peu efficace. Pour calculer, notre cerveau mobilise des centaines de milliards de neurones, et nous mettons plusieurs minutes, là où quelques centaines de neurones, spécialement arrangés et «reconnectés» pour le calcul, font le travail en quelques millisecondes. Une infime proportion de la population naît avec des dispositions exceptionnelles pour le calcul (ces personnes calculent 100 fois plus vite que la moyenne), mais les ordinateurs sont des millions, voire des milliards de fois plus rapides.

Les spécialistes de la robotique essaient de programmer des ordinateurs généralistes pour donner à ceux-ci des performances égales à celles du cerveau humain, spécialisé dans la perception et dans d'autres tâches biologiquement utiles. Pour l'instant, les ordinateurs ne sont pas assez puissants, mais on approche du but.

## Reproduire l'intelligence

Quand je dis que les ordinateurs auront la même perception, la même intelligence et la même pensée que notre espèce, j'affirme implicitement que des systèmes artificiels suffisamment com-

plexes – électroniques, par exemple – peuvent être programmés de sorte qu'ils fonctionnent comme le système nerveux humain. Cette idée est évidemment controversée, même parmi les spécialistes d'intelligence artificielle.

La question fondamentale est de savoir si des structures et des comportements biologiques résultent seulement des lois physiques et si ces lois sont calculables. Je ne vois aujourd'hui aucune preuve d'impossibilité, au contraire.

La biologie moléculaire et les neurosciences découvrent les mécanismes physiques de la vie et, notamment, de la pensée, mais elles n'en sont pour l'instant qu'aux plus simples. Cependant, en combinant des fonctions simples, on obtient les capacités supérieures des systèmes nerveux, comme le montrent les programmes d'ordinateur qui lisent, reconnaissent le langage parlé, guident des bras de robots pour assembler des composants grâce au toucher, classent des composés chimiques avec leur odorat ou leur goût artificiels, raisonnent sur des problèmes abstraits... Si les compétences des ordinateurs et des robots sont encore loin derrière celles des êtres humains ou des animaux, c'est, je crois, parce que les ordinateurs sont limités à l'intelligence des insectes. D'ailleurs, les robots confrontés à des tâches simples se comportent effectivement comme des insectes.

Par exemple, les fourmis suivent des pistes odorantes, mais elles sont complètement désorientées quand les pistes s'interrompent. Les papillons de nuit suivent les phéromones et s'orientent grâce à la lune. De même, les robots suivent des guides sous le sol et s'orientent avec des lasers qui lisent des codes-barres sur les murs.

À mesure que la puissance des ordinateurs augmentera, leurs capacités égaleront, puis surpasseront celles de divers animaux et, finalement, celles des êtres humains. Si l'on découvrait un jour des capacités mentales inaccessibles aux robots, quelle que soit leur puissance de calcul, on serait face à un problème scientifique passionnant : trouver comment isoler et identifier la capacité fondamentale du cerveau qui manquerait aux ordinateurs. Pour l'instant toutefois, rien n'indique qu'une telle capacité existe.

D'autre part, les lois de la physique semblent être reproductibles par le calcul : on a déjà réalisé d'innombrables simulations informatiques, à divers degrés d'abstraction et d'approximation, dans des domaines aussi variés que les collisions frontales de voitures ou la physique des particules.

## Le cerveau, plus rapide que l'ordinateur

Quelle puissance les ordinateurs devraient-ils avoir pour simuler le cerveau humain ? Pour l'estimer, examinons la rétine des vertébrés. En comparant la vitesse de traitement d'image de la rétine au nombre d'instructions par seconde nécessaires à un ordinateur pour accomplir une tâche similaire, j'évalue la puissance de traitement de l'information du tissu nerveux et, par extrapolation, du système nerveux humain tout entier.

La rétine humaine, à l'arrière du globe oculaire, a une épaisseur de 0,5 millimètre environ et un diamètre de l'ordre de deux centimètres. Elle est essentiellement constituée de cellules sensibles à la lumière. Sur une épaisseur de 0,1 millimètre, elle comporte aussi des circuits de traitement d'image qui détectent les contours (les différences de contraste) et le mouvement. L'image est découpée en un million de petites portions, chacune étant associée à une fibre du nerf optique, qui effectue environ dix détections de contours ou de mouvements par seconde. Les résultats de



Space Channel/Philip Saunders/Gordon Chapman

**2. AUSSI INTELLIGENTS QUE LES SINGES**, les robots généralistes du **xxi<sup>e</sup> siècle** seront équipés d'ordinateurs qui traiteront **50 000 milliards d'informations par seconde**.