

endroit. C'est entre ces deux mêmes couches de lave que les paléontologues ont retrouvé les restes de l'homme originel. Les plus anciens datent de 6,2 millions d'années.

Les ossements retrouvés appartiennent à au moins cinq individus dont un enfant, puisqu'on a retrouvé une dent de lait. Les paléontologues disposent de trois fémurs, de deux fragments de mandibule, d'un humérus et d'une poignée de dents. Ils estiment que l'homme originel mesurait 1,40 mètre et pesait 50 kilogrammes environ. Les dents sont petites et leur émail est épais, ce qui indique qu'il mangeait probablement des fruits à écorce dure ou même de la viande à l'occasion. Les dents des grands singes sont petites et leur émail est mince, tandis que les dents des australopithèques sont massives et l'émail est épais. Celles de l'homme originel sont à mi-chemin, plus primitives que celles des australopithèques. La dernière molaire est égale-

ment de petite taille, ce qui montre qu'il ne disposait de peu de place.

On déduit de la forme recourbée des phalanges et de la forme de l'humérus qu'il grimpait encore aux arbres. Toutefois, d'après la forme de la tête sphérique du fémur et des insertions des muscles fessiers, l'homme originel était bipède lorsqu'il se déplaçait sur le sol. Rappelons que ce critère est celui qui définit généralement la famille des hominidés. L'étude comparée des os montre que l'homme originel marchait mieux que les australopithèques, ce qui fait reculer d'au moins un million d'années l'apparition de la bipédie.

Les paléontologues ont également retrouvé des milliers de fossiles d'une faune riche et diversifiée : antilopes, gazelles, singes, éléphants, rhinocéros, girafes, crocodiles... Plusieurs ossements d'*Orrorin tugenensis* portent d'ailleurs des traces de crocs, ce qui laisse supposer qu'il était la proie des car-

nassiers. Son aptitude à grimper dans les arbres devait le mettre à l'abri des grands prédateurs, tandis que la bipédie lui permettait de se déplacer plus aisément à terre.

À cause de ses caractéristiques anatomiques, l'homme originel a été classé dans un nouveau genre, autour duquel les paléontologues ont esquissé un nouvel arbre généalogique : dans le schéma classique, les australopithèques sont nos ancêtres directs, tandis que dans le nouveau schéma, proposé par Brigitte Senut, du Muséum national d'histoire naturelle, ils appartiennent à une branche morte et l'homme originel se trouve en amont des *Homo* qui ont précédé l'arrivée de l'homme moderne *Homo sapiens sapiens*. Leur lignée aurait divergé de celle des grands singes africains il y a sept à huit millions d'années à partir d'un ancêtre commun. Cette découverte relance la course au plus vieil ancêtre de l'homme.

La dyslexie universelle

Malgré les disparités des symptômes, ce trouble a des origines physiologiques identiques, indépendantes de la langue maternelle.

Une lecture lente et entachée d'erreurs est l'un des symptômes les plus fréquents de la dyslexie. En France, les troubles de l'apprentissage du langage écrit touchent environ un million d'enfants. Toutefois, la proportion des enfants atteints varie d'un pays à l'autre : par exemple, la proportion de dyslexiques aux États-Unis est deux fois supérieure à la moyenne en Italie. Pourtant, l'équipe de Jean-François Démonet, de l'unité INSERM U455, à Toulouse, en coopération avec des équipes anglaises et italiennes, a montré que les lésions cérébrales associées à ce trouble sont universelles : celles d'un Italien sont identiques à celles d'un Français ou d'un Anglais.

Jusque dans les années 1990, la dyslexie était interprétée comme la conséquence de difficultés psychologiques au sein de la famille et/ou avec les enseignants. Puis, avec l'avènement des techniques d'imagerie fonctionnelle, les neurologues ont pu étudier la dimension biologique de la dyslexie. Ainsi, les différentes équipes ont demandé à des étudiants italiens, français et britanniques de lire des mots pendant que l'activité de leur cerveau était enregistrée

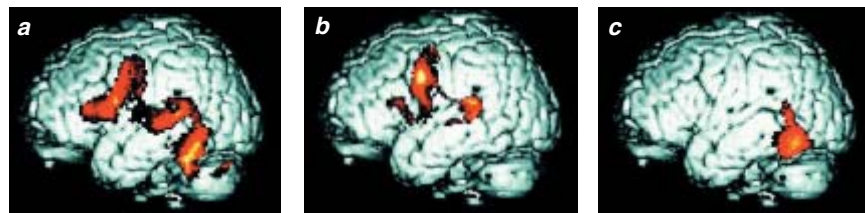
par tomographie par émission de positons. Chez tous les sujets dyslexiques, une zone du lobe temporal gauche est moins active que celle des sujets non dyslexiques étudiés comme témoins.

Cette zone est cruciale pour la lecture : elle constitue l'interface où l'information sur la forme des lettres lues est transformée en une information phonologique, un son qui peut ensuite être articulé à haute voix. En d'autres termes, le codage visuel est transformé en un codage auditif : ce mécanisme, automatisé chez les bons lecteurs, est déficient et laborieux chez les dyslexiques. Cette lésion résulterait d'une perturbation de la migration des neurones lors de la formation du cerveau : certains neurones de la zone incriminée dépasseraient leur lieu de « destination » normale jusqu'à atteindre la couche la plus superficielle, dite moléculaire, du cortex.

Quelle est alors l'origine des disparités observées selon les pays ? Elle dépend de la difficulté de la langue. Le français et l'anglais sont des langues dites opaques, car un même son peut être représenté par un grand nombre de

combinaisons de lettres. Par exemple, dans les mots *crapaud*, *seau* et *sabot*, le son *o* a trois orthographes différentes. En anglais, 1120 combinaisons de lettres, nommées graphèmes, représentent 40 sons, ou phonèmes ; en français, 190 graphèmes représentent 35 phonèmes. La complexité de ces deux langues oblige les individus à disposer, dans leur mémoire à long terme, d'un dictionnaire de mots (le lexique) qui s'enrichit à mesure de l'apprentissage.

À l'inverse, l'italien, comme l'espagnol, est une langue transparente : il y a environ autant de graphèmes que de phonèmes. Ainsi, on écrit sans ambiguïté un mot entendu : l'italien s'écrit comme il se prononce. Il en résulte qu'en Italie la dyslexie ne se manifeste que par un ralentissement de la lecture, tandis qu'en France et dans les pays anglophones s'y ajoutent des déformations des mots lus. La dyslexie, un dysfonctionnement du codage automatique des graphèmes en phonèmes, est d'autant plus prononcée que la langue est complexe, et que le nombre de graphismes pour représenter un son est grand.



L'activité cérébrale de sujets normaux (a) et de sujets dyslexiques (b) a été enregistrée pendant la lecture. La différence entre les deux cartes (c) montre que la zone responsable du codage de l'information graphique (les lettres) en information phonologique (les sons), située dans la partie inférieure du lobe temporal gauche, est sous-activée chez les dyslexiques.

L'effet papillon n'existe plus!

RAOUL ROBERT

Les prévisions météorologiques seraient impossibles au-delà de deux semaines, à cause de l'«effet papillon». Ce dogme est démenti par la mécanique statistique.

La sérénité de l'Olympe étant réservée aux dieux, les humains tentent depuis longtemps de deviner quel morceau du ciel risque de leur tomber sur la tête. En deux millénaires, les systèmes de prévision sont passés de la consultation des oracles, fondés sur le sacrifice animal, voire humain, aux modèles théoriques et aux calculs numériques.

La mécanique céleste était au centre des préoccupations scientifiques du XIX^e siècle, et la prévision météorologique prend son essor au XX^e siècle. Elle se heurte à des difficultés sérieuses, liées à la modélisation des phénomènes atmosphériques, ainsi qu'au traitement des équations obtenues, qui sont complexes. Face à ces obstacles, l'optimisme qui régnait dans les années 1950 se mue au cours des années 1960 en un pessimisme excessif, qui tient en un seul nom, charmant au demeurant : l'effet papillon.

Le déterminisme laplacien

Dans la longue histoire de la prévision, qu'elle traite du temps ou des mouvements célestes, un moment crucial est la découverte par Issac Newton au XVII^e siècle des équations qui régissent le mouvement des planètes : connaissant la position et la vitesse des planètes à un instant donné, on détermine les points de leur trajectoire à tout instant ultérieur. Comme tous les systèmes mécaniques obéissent à des équations du même type, l'état ini-

tial d'un système détermine complètement son avenir. Cette idée est popularisée par Laplace, au point de devenir une idéologie : le déterminisme laplacien, selon lequel rien de neuf ne peut advenir qui ne soit déjà contenu dans les conditions initiales. Le problème de la prévision semble dès lors résolu, du moins en théorie.

Dans la seconde moitié du XIX^e siècle, le déterminisme laplacien est mis à mal quand des mathématiciens entreprennent de calculer les trajectoires des astres. Henri Poincaré, puis Jacques Hadamard découvrent que des systèmes pourtant simples, comme celui constitué de trois corps qui s'attirent par gravitation, donnent lieu à des trajectoires très compliquées et que, pour beaucoup de systèmes, la moindre variation des positions ou des vitesses initiales engendre des écarts de trajectoire considérables. Comme on ne connaît jamais l'état initial avec une exactitude parfaite, on ne peut déterminer l'évolution d'un tel système au-delà d'un certain temps. Ces travaux sont les prémices de la théorie du chaos, qui se développe à partir des années 1970 et étudie l'évolution de l'incertitude sur l'état initial. À partir des années 1980, les astronomes montrent qu'il est impossible de connaître l'état du système solaire au-delà de quelque 100 millions d'années. Au-delà de cet horizon, il faudrait tenir compte, dans les calculs, de la forme des astres, des effets des marées, et d'une multitude d'autres paramètres...

Cette découverte est fatale au déterminisme laplacien.

Revenons à la météorologie : dans les années 1950, la prévision météorologique «moderne», entreprise scientifique ambitieuse, commence à se mettre en place. Elle associe la physique de la modélisation de l'atmosphère, les mathématiques, le calcul numérique et l'informatique. Au début des années 1960, les premiers ordinateurs performants apparaissent et permettent des calculs auparavant inaccessibles. Le météorologiste américain Edward Lorenz commence alors à étudier un modèle simplifié de la convection atmosphérique, fondé sur des équations classiques de la convection dans les fluides. Son modèle contient trois degrés de liberté, c'est-à-dire trois inconnues, et se résume à trois équations différentielles à trois variables. En essayant de prévoir l'évolution de son modèle sur

1. LE BATTEMENT D'UNE AILE DE PAPILLON ne déclenche pas de tempête, contrairement à une idée très répandue. Des effets statistiques entrent en jeu dans l'atmosphère : la turbulence s'organise et la sensibilité aux conditions initiales disparaît. Par conséquent, on peut espérer prédire le temps qu'il fera au-delà de la limite fatidique de deux semaines avancée par Edward Lorenz, météorologiste à l'origine de l'effet papillon.

