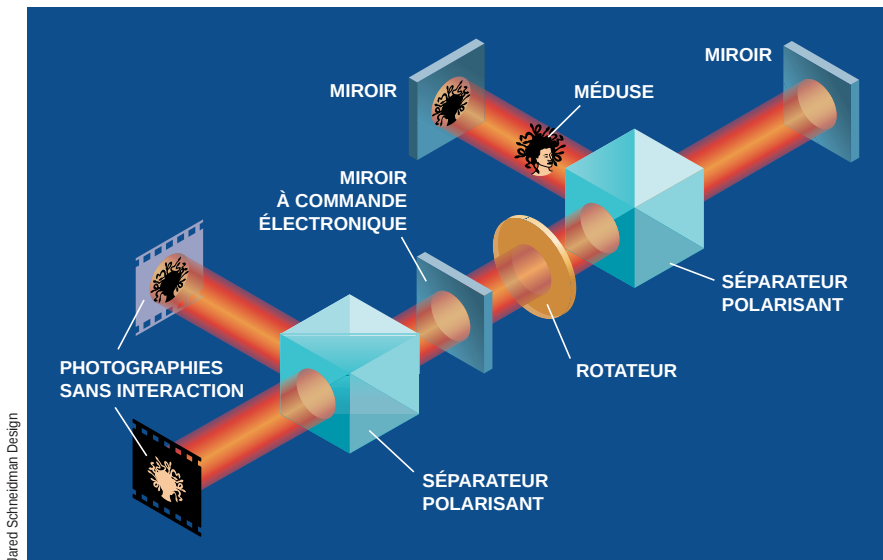




11. DES PHOTOGRAPHIES pourraient être prises par des systèmes de mesure sans interaction. Ainsi des objets qui ne doivent pas être vus directement, telle la tête de Méduse, pourraient être photographiés à l'aide d'une lumière extrêmement réduite.

horizontale des photons serait progressivement tournée vers la verticale ; dans les régions où l'objet obstruerait le chemin optique, quelques-uns des photons seraient absorbés, tandis que la polarisation des autres serait bloquée dans le plan horizontal. Enfin on enregistrerait une photographie des photons à travers un filtre polarisant, après un nombre suffisant de cycles.

Avec un filtre aligné horizontalement, on obtiendrait une image de l'objet ; avec un filtre aligné verticalement, on obtiendrait son négatif. Dans tous les cas, l'image serait formée à partir de photons qui n'ont jamais touché l'objet. Ces techniques pourraient aussi être appliquées à des objets semi-transparents et pourraient probablement être généralisées à la détection de la couleur d'un objet (cet objectif semble beaucoup plus lointain).

Un procédé d'imagerie fondé sur ce principe serait utile en médecine, par exemple, pour visualiser les cellules vivantes ou pour réduire les doses de rayons X envoyées aux personnes à qui l'on fait une radiographie (un tel procédé de radiographie n'est pas pour demain, car on ne dispose pas des éléments des éléments optiques nécessaires aux longueurs d'onde des rayons X).

L'imagerie des atomes ultrafroids, produits depuis peu dans divers laboratoires, pourrait également profiter de ce type de photographie. En refroidissant suffisamment des atomes, on provoque la condensation de Bose-

Einstein, qui conduit à un nouvel état quantique où les atomes agissent collectivement comme une seule entité. À l'intérieur d'un groupe d'atomes où cette condensation a eu lieu, chaque atome est si froid qu'un seul photon le chasserait du groupe condensé. Initialement, on ne savait donc pas observer la condensation sans détruire le nuage, mais des méthodes de mesure sans interaction permettraient d'observer les assemblages atomiques.

Avec le même type de mesures sans interaction, on pourrait également fabriquer des systèmes quantiques nouveaux. Notamment on pourrait tester expérimentalement l'expérience de pensée du «chat de Schrödinger». Ce chat quantique est préparé de sorte qu'il se trouve simultanément dans deux états quantiques : vivant et mort. Au début de l'année 1996, des physiciens de l'Institut américain de normalisation ont créé une sorte de chaton de Schrödinger, à l'aide d'un ion béryllium : ils ont utilisé une combinaison de champs magnétiques et de lasers pour placer simultanément l'ion en deux endroits, séparés de 83 nanomètres.

Si l'on examinait un tel ion à l'aide d'un appareil de mesure sans interaction, le photon sondeur se placerait également dans des états superposés ; il pourrait finir son trajet en étant polarisé à la fois verticalement et horizontalement. Mieux encore, le type de dispositif expérimental présenté précédemment

devrait pouvoir placer un groupe de plusieurs photons dans la même superposition. Chaque photon «saurait» qu'il est dans le même état de polarisation que tous les autres, mais aucun ne connaîtrait sa propre polarisation ; les photons resteraient dans cette situation de superposition jusqu'à ce qu'une mesure révèle la nature verticale ou horizontale de leur polarisation. La taille notable du paquet de photons ainsi préparé montrerait que des effets quantiques peuvent se faire sentir au niveau macroscopique.

Inaccessible à notre expérience quotidienne, le concept de mesure sans interaction est exorbitant. Il semblerait peut-être moins bizarre si l'on se souvenait que la mécanique quantique décrit un monde de potentialités. C'est parce qu'il *pourrait* y avoir une interaction que l'on s'efforce de l'annuler.

Ceux que cette remarque n'aide pas à admettre le phénomène peuvent se reconforter en pensant que les physiciens eux-mêmes ont très difficilement accepté l'étrangeté du monde quantique. La clé de la magie quantique – la complémentarité, la double nature corpusculaire et ondulatoire de la lumière, ainsi que la nature de la mesure quantique – est connue depuis 1930, mais les physiciens n'ont cherché que tout récemment des applications de ces principes. Et c'est ainsi qu'ils ont imaginé de voir dans l'obscurité.

Paul KWIAT, Harald WEINFURTER et Anton ZEILINGER ont effectué une bonne partie de leur travail commun à l'Université d'Innsbruck.

Richard P. FEYNMAN, *QED : The Strange Theory of Light and Matter*, Princeton University Press, 1985.

Avshalom C. ELITZUR et Lev VAIDMAN, *Quantum Mechanical Interaction-Free Measurements*, in *Foundations of Physics*, vol. 23, n° 7, pp. 987-997, juillet 1993.

P.G. KWIAT, H. WEINFURTER, T. HERZOG, A. ZEILINGER et M.A. KASEVICH, *Interaction-Free Measurement*, in *Physical Review Letters*, vol. 74, n° 24, pp. 4763-4766, 12 juin 1995.

Les mesures sans interactions sont discutées sur le réseau Internet, à l'adresse <http://info.uibk.ac.at/c/c7/c704/qo/photon/#Inter> et à <http://p23.lanl.gov/Quantum/kwiat/ifm-folder/ifmtext.htm>

La dyslexie

SALLY SHAYWITZ

Cette difficulté de lecture semble résulter d'une défaillance du système de traitement du langage plutôt que d'une anomalie visuelle. Une nouvelle modélisation de la dyslexie explique pourquoi des personnes très intelligentes par ailleurs ont des difficultés de lecture.

Il y a 100 ans, le médecin anglais Pringle Morgan décrivait pour la première fois une difficulté de la lecture que l'on nomma plus tard la dyslexie ; dans le journal de l'Association britannique de médecine, il écrivait : «Percy F., âgé de 14 ans, a toujours été un garçon intelligent. Il est rapide dans les jeux, et en aucune façon moins doué que ses camarades du même âge. Sa grande difficulté a été – et reste – son incapacité à apprendre à lire.»

Dans cette courte introduction, Morgan décrit le paradoxe auquel, depuis un siècle, sont confrontés psychologues et médecins : la difficulté profonde et persistante que certaines personnes très intelligentes rencontrent dans l'apprentissage de la lecture. En 1996 comme en 1896, savoir lire est considéré comme un gage d'intelligence : il semble qu'une personne intel-

ligente, motivée et scolarisée finira par savoir lire. L'existence de millions de dyslexiques montre que cette croyance est infondée.

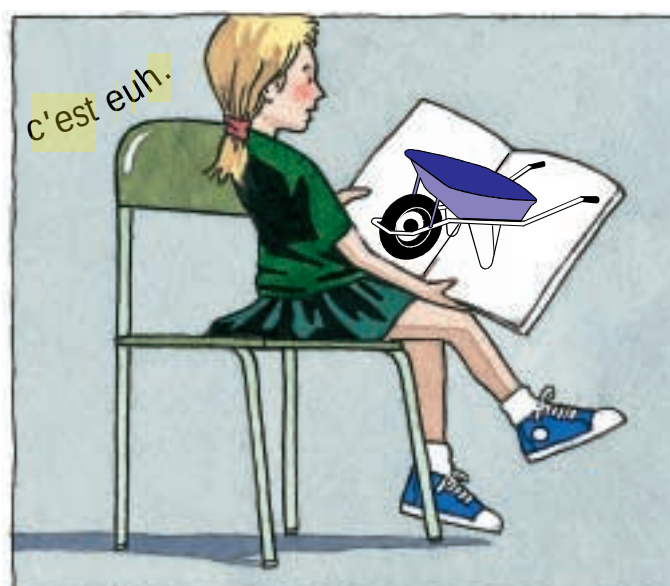
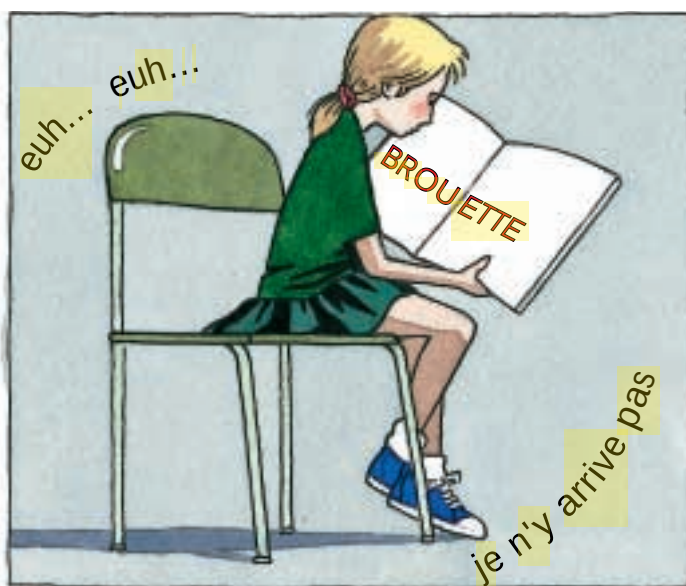
Dans les années 1920, les médecins supposaient que des défauts de la perception visuelle étaient responsables de l'inversion des lettres et des mots dont les dyslexiques sont coutumiers ; ils prescrivaient une rééducation des yeux, afin de corriger ces supposés problèmes visuels. Puis des recherches récentes montrèrent que les enfants dyslexiques n'inversent pas visuellement les lettres ou les mots, et que les difficultés de lecture résultent plutôt d'anomalies du langage : la dyslexie correspondrait à une déficience du traitement des phonèmes, les unités linguistiques qui composent les mots. Aujourd'hui, les modèles linguistiques de la lecture et de la dyslexie expliquent

pourquoi certaines personnes, très intelligentes par ailleurs, ont du mal à lire et à réaliser d'autres tâches linguistiques.

Au Centre pour l'étude de l'apprentissage et de l'attention, à Yale, nous avons évalué les difficultés de lecture de centaines d'enfants et d'adultes. Parmi ces derniers, beaucoup sont des étudiants ou des personnels de notre université. L'un d'eux, un étudiant en médecine prénommé Gregory, est venu nous voir après sa première année de médecine, où ses difficultés l'avaient découragé.

Malgré sa dyslexie diagnostiquée dès l'école primaire, Gregory avait suivi une scolarité spéciale pour enfants doués. Son intelligence et un soutien important lui avaient permis de terminer brillamment ses études secondaires et d'être admis en première

Le paradoxe de la dyslexie



année de médecine dans l'une des meilleures universités américaines. Là, Gregory avait énormément travaillé et avait reçu des offres émanant de quelques-unes des meilleures facultés de médecine pour la suite de ses études. Toutefois, il commençait à douter de ses compétences : il comprenait facilement les relations complexes entre les systèmes physiologiques et les mécanismes des maladies, car il excellait dans les domaines requérant des capacités de raisonnement, mais il peinait à prononcer des mots longs ou des termes nouveaux, tels ceux qui sont utilisés en anatomie descriptive, et il mémorisait très difficilement les termes techniques.

Ces performances sélectives étonnaient. Comment quelqu'un qui comprenait aussi bien des concepts difficiles était-il gêné par des détails ? La dyslexie de Gregory (il lisait encore lentement) était-elle la cause de son incapacité à nommer les tissus et les parties du corps ?

Nous pensons que c'est possible. L'histoire de Gregory correspond au tableau clinique de la dyslexie telle qu'elle est habituellement définie : des difficultés inattendues dans l'apprentissage de la lecture, malgré l'intelligence, la motivation et l'éducation. Nous comprenons maintenant bien la nature fondamentale de ces difficultés.

Au cours des deux dernières décennies, les psychologues ont mis au point un modèle cohérent de la dyslexie, fondé sur la compréhension nouvelle des mécanismes cérébraux du traitement phonologique. Il décrivent ainsi

les symptômes cliniques de la dyslexie en restant cohérents avec les connaissances neurobiologiques modernes.

Le modèle phonologique

Avant d'examiner le modèle phonologique de la dyslexie, voyons comment le cerveau traite le langage. Il utilise une hiérarchie de modules, dont chacun est spécialisé dans un traitement particulier. Les modules supérieurs traitent la sémantique (le vocabulaire et la signification des mots), la syntaxe (la structure grammaticale) et le discours (la connexion entre les phrases). En dessous, le module phonologique est dévolu à l'analyse des unités sonores qui composent le langage.

Le phonème, le plus petit segment du langage, est l'élément fondamental du système linguistique. Les combinaisons de 34 phonèmes seulement produisent tous les mots de la langue française. Le mot «foule», par exemple, est constitué de trois phonèmes : [f], [u] et [l]. Les mots ne sont identifiés, compris, stockés ou retrouvés dans la mémoire qu'après avoir été décomposés en phonèmes par le module phonologique du cerveau.

Cette décomposition est automatique et inconsciente. Noam Chomsky et, plus récemment, Steven Pinker, de l'Institut de technologie du Massachusetts, ont démontré que le langage est inné : les êtres humains l'apprennent dès qu'ils l'entendent. Un module phonologique génétiquement déterminé assemble automatiquement

les phonèmes en mots, pour celui qui parle, et décompose les mots parlés en leurs composants phonologiques, pour celui qui écoute.

Lors de l'émission d'un mot, l'appareil phonatoire – le larynx, le palais, la langue et les lèvres – fusionne automatiquement les phonèmes. L'information de plusieurs phonèmes est ainsi incorporée dans une seule unité sonore et, comme il ne subsiste pas d'indice apparent de la nature segmentée du discours, les mots semblent monolithiques : un oscilloscope enregistrerait le mot «foule» comme une bouffée sonore unique. Seul le système linguistique humain distingue les trois phonèmes composant ce mot.

La lecture fait intervenir le langage parlé et se fonde également sur un traitement phonologique, mais elle est beaucoup plus difficile à maîtriser, car elle n'est pas naturelle : la lecture est une invention, qui doit être apprise consciemment. Celui qui lit doit transformer les signes visuels de l'écriture alphabétique en signes linguistiques, c'est-à-dire décoder les graphèmes (les lettres) et les coder en phonèmes correspondants. À cette fin, les lecteurs débutants doivent d'abord identifier la structure phonologique des mots parlés ; puis ils doivent comprendre que l'orthographe, la séquence de lettres sur la page, représente les mots. Un enfant apprenant à lire réalise cette recombinaison.

Le modèle phonologique de la dyslexie, ou hypothèse du déficit phonologique, stipule que, chez les enfants dyslexiques, un déficit du module pho-

