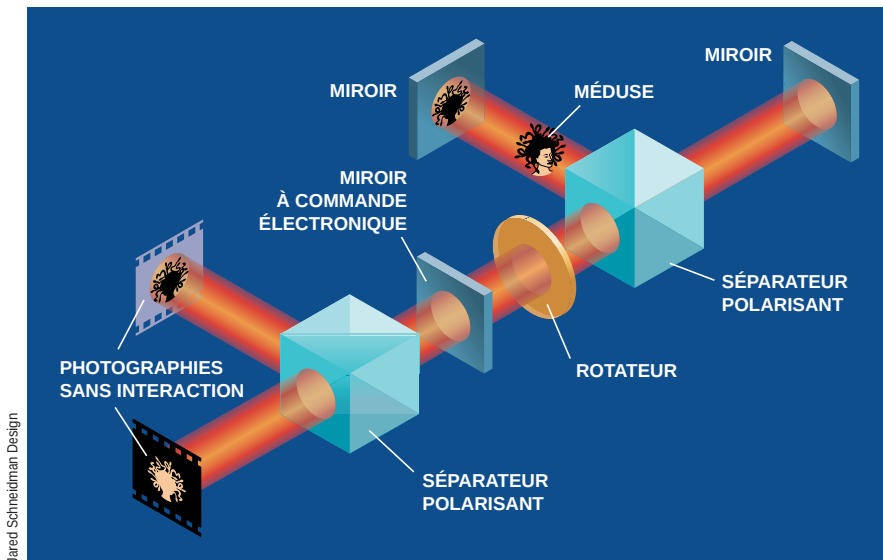




11. DES PHOTOGRAPHIES pourraient être prises par des systèmes de mesure sans interaction. Ainsi des objets qui ne doivent pas être vus directement, telle la tête de Méduse, pourraient être photographiés à l'aide d'une lumière extrêmement réduite.

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.

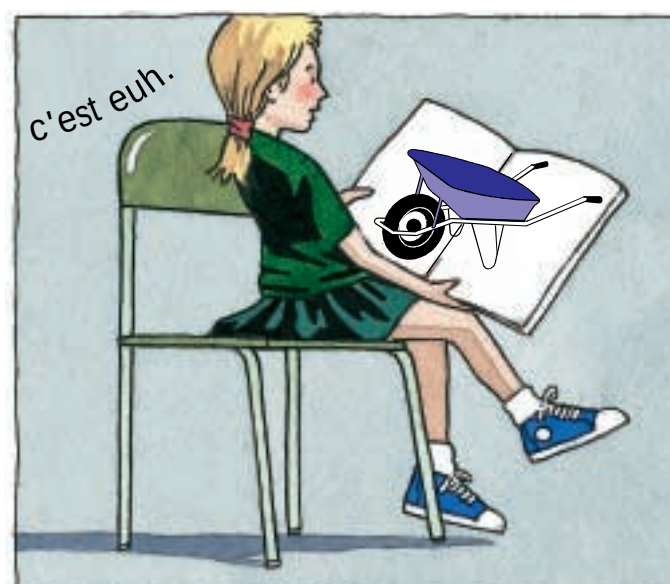
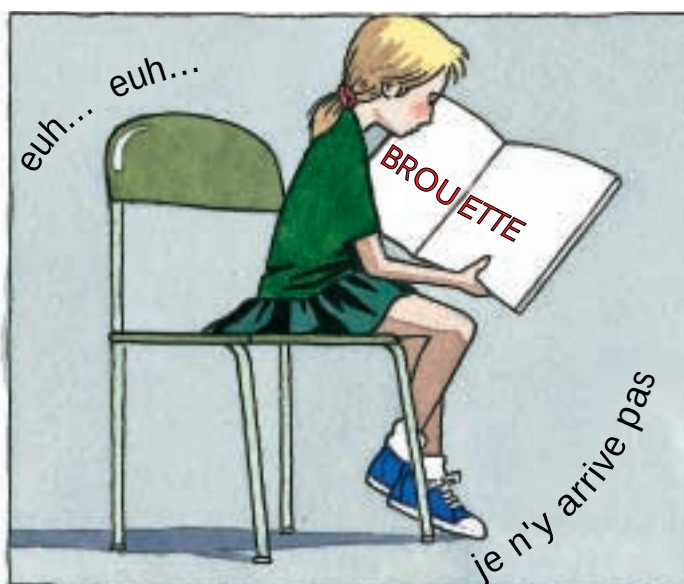
Dans les années 1920, les médecins supposaient que des défauts de la perception visuelle étaient responsables de l'inversion des lettres et des mots dont les dyslexiques sont coutumiers ; ils prescrivaient une rééducation des yeux, afin de corriger ces supposés problèmes visuels. Puis des recherches 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-



nologique perturbe la capacité à segmenter les mots écrits en phonèmes. Plus précisément, la perturbation du décodage empêcherait l'identification des mots. Ce déficit d'une fonction linguistique de bas niveau bloque le fonctionnement correct des modules supérieurs. Le déficit phonologique est manifeste quand la personne dyslexique lit, mais il gêne également la parole d'une manière correctement prévue par le modèle phonologique.

Depuis plus de 20 ans, les observations corroborent cette théorie. L'une des premières expériences, réalisée par

Isabelle Liberman, des Laboratoires *Haskins*, montrait que les enfants prennent conscience de la structure phonologique des mots parlés entre quatre et six ans : on demandait aux enfants combien de sons ils entendaient dans une suite de mots. Aucun des enfants de quatre ans n'identifiait correctement le nombre de phonèmes, mais 17 pour cent des enfants de cinq ans y parvenaient, et, à l'âge de six ans, la conscience phonologique était acquise pour 70 pour cent des enfants. À ce stade, la plupart des enfants avaient appris à lire pendant au moins un an

(aux États-Unis, l'apprentissage de la lecture commence dès cinq ans). Aussi a-t-on conclu que la conscience phonologique se développe parallèlement à cet apprentissage, ce qui indiquerait que les deux phénomènes sont liés.

Cette correspondance est également corroborée par une enquête que nous menons dans le Connecticut depuis 1983. Chaque année, nous faisons passer des tests à 445 enfants tirés au sort. Nous avons ainsi observé que 20 pour cent environ des enfants scolarisés sont dyslexiques : cette proportion est à rapprocher de celle (30 pour cent) des enfants de six ans étudiés par Liberman, qui n'avaient pas acquis la conscience des phonèmes.

La conscience des phonèmes

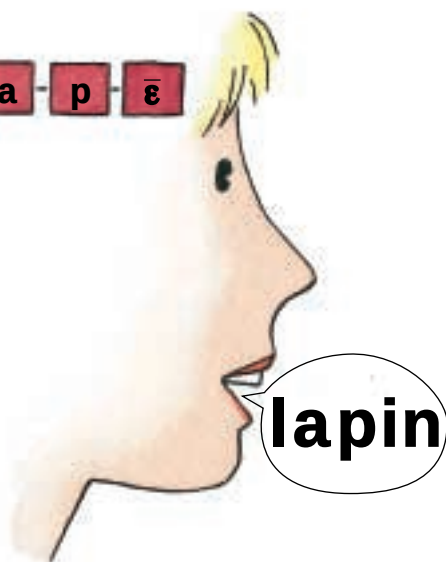
Au cours des années 1980, les psychophysiologistes ont commencé à étudier explicitement les relations entre la conscience phonologique et la lecture. À l'Université d'Oxford, Lynette Bradley et Peter Bryant ont montré que l'aptitude phonologique des enfants de maternelle est un indicateur de leurs capacités ultérieures de lecture ; en outre, un entraînement systématique de la conscience phonologique augmente la capacité de lecture des enfants. Dans ces expériences, un groupe d'enfants était entraîné à effectuer des traitements phonologiques, tandis qu'un autre groupe effectuait des exercices linguistiques qui ne nécessitaient pas de manipulation de la structure sonore des mots ; par exemple, on demandait au premier groupe de classer des mots en fonction de leur consonance et au second groupe de les classer selon leur signification. Ces travaux, et d'autres qui suivirent, montrent clairement que l'exercice des fonctions phonologiques améliore plus la lecture que ne le font des exercices généraux d'apprentissage du langage.

Sur la base de ces résultats, nous avons ensuite comparé les capacités cognitives d'enfants dyslexiques et d'enfants non dyslexiques. Avec quelques collègues, nous avons examiné 378 enfants âgés de sept à neuf ans, au moyen de tests évaluant les aptitudes linguistiques et non linguistiques. Nous avons ainsi établi que les déficits phonologiques sont les meilleurs indicateurs de la dyslexie.

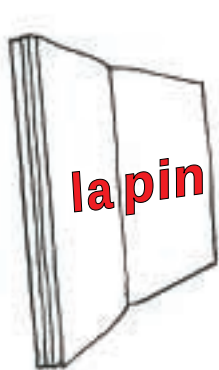
Un test d'analyse des sons semble un révélateur particulièrement fiable

b a t i
l u p o
k o b ε

l a p ε



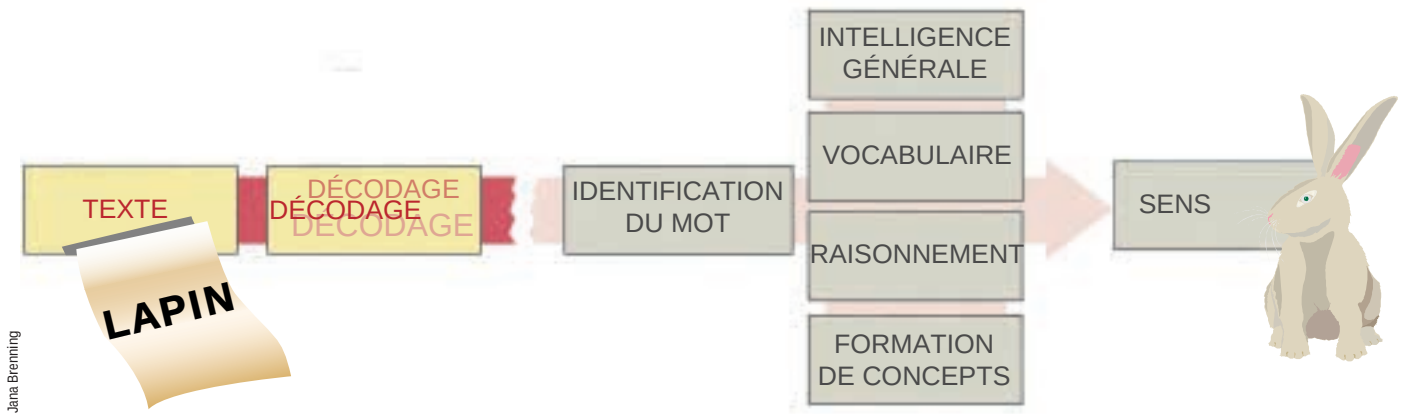
1. LA PAROLE est un acte automatique et inconscient qui résulte de l'activité d'un système cérébral spécifique. Tout d'abord, les structures phonologiques sont sélectionnées et assemblées. Les phonèmes sont ensuite réunis par l'appareil phonatoire (ε désigne le son «in»). Cette articulation groupée permet l'émission rapide de chaînes phonétiques, mais noie les phonèmes individuels dans le flot de paroles.



l a p ε



2. LA LECTURE n'est pas une capacité naturelle. Le lecteur doit comprendre que les lettres sur une page représentent les sons du mot parlé. Pour lire le mot «lapin», le lecteur doit analyser, c'est-à-dire segmenter, le mot en ses éléments phonologiques sous-jacents. Une fois que le mot est sous forme de phonèmes, il peut être identifié et compris. Chez les individus dyslexiques, un module phonologique inefficace produit des représentations qui sont moins claires et, par conséquent, plus difficiles à amener à un niveau conscient.



3. AU COURS DE LA LECTURE, le mot «lapin» est d'abord décodé sous sa forme phonologique [l a p ɛ̃]. Une fois les phonèmes identifiés, des fonctions cognitives supérieures, telles que le raisonnement et le vocabulaire, font comprendre la signification du mot (petit mam-

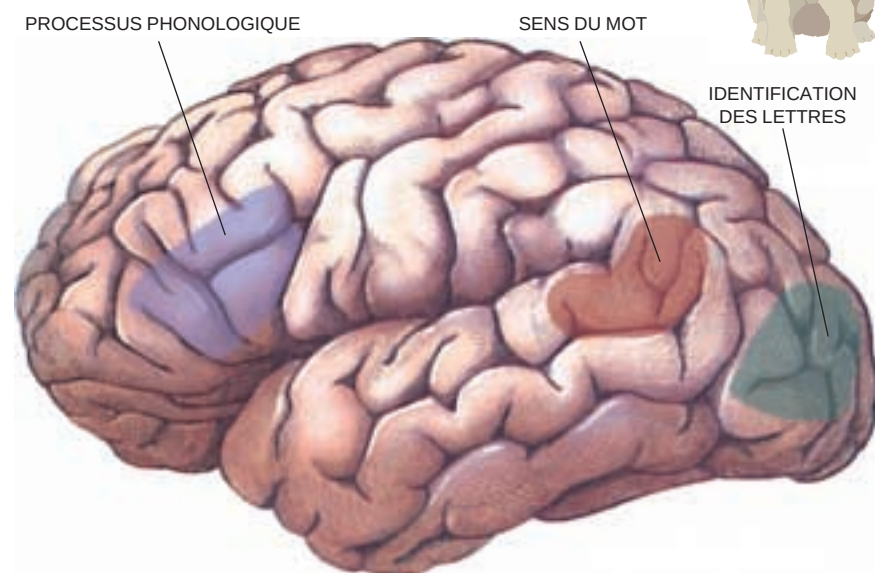
mière avec de grandes oreilles). Dans la dyslexie, une déficience phonologique perturbe le décodage, empêchant le lecteur d'utiliser son intelligence et son vocabulaire pour accéder à la signification du mot.

de la dyslexie : on demande à l'enfant de décomposer les mots en phonèmes et de supprimer ensuite certains phonèmes de ces mots. Par exemple, l'enfant doit prononcer «bleu», sans le [b], ou le mot «sourd» sans [s]. Les résultats à ce test sont étroitement liés à la capacité des enfants de décoder des mots uniques dans des tests standardisés, et ils sont indépendants de leur vocabulaire ou de leurs capacités de raisonnement. Lorsque nous avons ensuite fait passer ce test, et d'autres tests d'analyse des phonèmes, à un groupe d'adolescents de 15 ans, nous avons obtenu des résultats identiques : même pour des adolescents, la conscience de l'existence de phonèmes est le meilleur indicateur de la capacité de lecture.

Si la dyslexie résulte de capacités phonologiques insuffisantes, on devrait observer d'autres conséquences de ce dysfonctionnement phonologique. Or, il y a dix ans, aux Laboratoires *Haskins*, Robert Katz a mis au jour les problèmes que les mauvais lecteurs rencontrent lorsqu'ils nomment des objets dessinés : lorsque des personnes dyslexiques se trompent en nommant des objets, leurs réponses incorrectes ont des caractéristiques phonologiques communes avec la réponse correcte. De surcroît, les erreurs ne résultent pas d'un manque de connaissances. Par exemple, une fillette à qui l'on montre la photographie d'une brouette la nomme «roulette», mais, lorsqu'on lui donne la possibilité d'en dire plus, elle montre qu'elle reconnaît parfaitement l'objet représenté : elle décrit les caractéristiques d'une brouette avec de nombreux détails et désigne d'autres photographies en rapport avec les brouettes. Elle est juste incapable de prononcer le mot «brouette».

Ce résultat et d'autres montrent que les composants linguistiques de haut niveau restent intacts chez les personnes dyslexiques. Les opérations linguistiques qui concourent à la compréhension des mots, de la grammaire et du discours paraissent totalement fonctionnels, mais leur activité est bloquée par le déficit du traitement phonologique. Dans l'une de nos études, Jennifer, une jeune fille brillante avec des difficultés de lecture importantes, nous expliqua tout sur le mot «apocalypse» ; elle en connaissait le sens, les connotations et l'usage correct, mais elle était incapable de reconnaître le mot sur une page imprimée. Comme elle ne pouvait pas décoder ni identifier le mot écrit, elle ne pouvait pas accéder à ce qu'elle en savait.

Naturellement, de nombreux dyslexiques, tel Gregory, apprennent à lire et ont de bons résultats scolaires malgré leur handicap. Les «dyslexiques compensés» obtiennent d'aussi bons résultats que les non-dyslexiques sur des tests de précision des mots, parce qu'ils ont appris à décoder et à identifier les mots, de sorte qu'ils accèdent aux niveaux supérieurs du système linguistique ; cependant, comme leur décodage reste laborieux, ils mettent plus de temps que les autres à lire. Leur capacité à identifier les mots n'est ni automatique ni fluide. Nombre de dyslexiques nous ont signalé à quel point la lecture les fatigue,



4. LES RÉSEAUX NEURONAUX utilisés lors de la lecture ont été révélés par l'imagerie médicale. L'identification des lettres active le cortex extra-strié dans le lobe occipital, le traitement phonologique active la circonvolution frontale inférieure (l'aire de Broca) et l'accès à la signification active les circonvolutions temporales supérieure et moyenne.

Carol Donner, d'après Brain, Mind and Behavior, par F.E. Bloom et A. Lazerson, W.H. Freeman, 1988

parce qu'ils doivent consacrer beaucoup d'énergie à cette tâche. La lenteur des interprétations phonologiques est caractéristique des groupes de dyslexiques compensés. Pour mieux comprendre ce phénomène, nous avons étudié le cerveau de ces dyslexiques par des techniques d'imagerie médicale.

Le modèle phonologique suppose, nous l'avons vu, que chacune des opé-

rations en œuvre lors de l'identification d'un mot soit réalisée par un réseau spécifique de cellules nerveuses. Cependant, encore récemment, on comprenait mal comment ces réseaux étaient organisés dans le cerveau humain. Contrairement à de nombreuses autres fonctions physiologiques, la lecture ne peut être étudiée chez l'animal, et, pendant longtemps,

les neurobiologistes ont localisé les centres cérébraux des opérations cognitives supérieures en étudiant des patients ayant survécu à des lésions cérébrales. Cette approche ne permettait pas d'identifier les régions cérébrales activées lors de la lecture, et nous avons espéré beaucoup de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), mise au point à la fin des

Se jouer des difficultés d'apprentissage

La dyslexie est le plus fréquent des troubles de l'apprentissage. Les enfants qui ont des difficultés d'apprentissage sont au centre d'une industrie florissante depuis 1968, année où les autorités américaines ont commencé à attribuer des crédits importants pour les aider. Aux États-Unis, le nombre d'enfants diagnostiqués comme ayant des difficultés d'apprentissage est passé de 780 000 en 1976 à 2,3 millions en 1993. Plus de 50 milliards de francs sont consacrés chaque année, au diagnostic, au traitement et à l'étude de ces difficultés.

La définition et les critères diagnostiques des troubles de l'apprentissage sont souvent subjectifs ou ambigus ; leurs causes sont parfois obscures ou controversées. Par exemple, le psychologue Gérald Coles, de l'Université de Rochester, conteste que 20 pour cent des enfants soient dyslexiques. Les psychophysiologistes et les éducateurs ne croient pas tous à une explication phonologique (ou même biologique) de la dyslexie. En conséquence, l'intérêt des divers traitements est également très controversé. Au cours des années, les éducateurs et les parents ont essayé toutes sortes de techniques qui promettaient d'aider les enfants à surmonter leurs difficultés d'apprentissage, et ils ont été souvent déçus. Néanmoins, les résultats des recherches actuelles sont encourageants.

Les groupes de Paula Tallal, à l'Université Rutgers, et de Michael Merzenich, à l'Université de San Francisco, ont récemment mis au point un traitement intéressant afin d'aider les dyslexiques et aussi, plus généralement, les enfants qui souffrent de troubles du langage. Tous les enfants ayant des troubles du langage ne sont pas dyslexiques, et tous les dyslexiques n'ont pas nécessairement des déficits linguistiques, mais il existe quand même un recouvrement important entre les deux groupes : jusqu'à huit pour cent des enfants auraient des troubles du langage et, parmi eux, plus de 85 pour cent sont également dyslexiques.

P. Tallal est depuis longtemps convaincue que les troubles du langage résultent d'une incapacité à traiter l'information auditive à une vitesse suffisante. Alors que la plupart des enfants sont capables de traiter des phonèmes dont la durée est inférieure à 40 millisecondes, ceux qui ont des déficits linguistiques auraient besoin de 500 millisecondes. Ces derniers sont incapables de faire la distinction entre le mot «pull» et le mot

«bulle». Cette hypothèse serait compatible avec le modèle du déficit phonologique de la dyslexie, mais elle met plus l'accent sur le rôle de la chronologie du traitement des informations dans le cerveau.

P. Tallal pense que les déficits linguistiques sont plus souvent dus à un déficit organique qu'à des facteurs environnementaux ; l'imagerie par résonance magnétique du cerveau a révélé des dif-

férences cérébrales claires entre les personnes qui ont des capacités linguistiques normales et celles qui ont des troubles du langage.

Il y a deux ans, elle s'est associée avec M. Merzenich et quelques autres afin de mettre au point une rééducation assistée par ordinateur pour les enfants souffrant de troubles du langage : un logiciel de traitement du langage permet aux chercheurs de modifier l'amplitude et la durée de sons enregistrés.

Dans l'un des logiciels, dont le thème est le cirque, un clown émet deux phonèmes

proches, comme [p] et [d]. La durée de ces phonèmes a été allongée de manière que l'enfant les comprennent plus facilement. Lorsque l'enfant fait correctement la distinction entre les deux sons, le clown le félicite.

Lorsque les enfants distinguent bien les phonèmes d'une durée donnée (par exemple, 400 millisecondes), on leur passe des phonèmes plus rapides et plus réalistes. Les enfants écoutent aussi des enregistrements étirés de mots entiers, de phrases et d'histoires. Aidés de ce logiciel, les enfants entraînés ont acquis l'équivalent de deux années d'apprentissage linguistique en un mois seulement. Un groupe de contrôle recevant une thérapie identique, mais sans les phonèmes allongés, n'avait progressé que de l'équivalent de six mois.

La Société *Scientific Learning Principles* commercialise aujourd'hui un CD-ROM interactif qui contient ce logiciel d'exercice. En 1997, le prototype sera testé par quelque 500 enfants qui souffrent de déficits linguistiques, de dyslexie, de troubles de l'attention et d'autres difficultés d'apprentissage.

De nombreuses personnes doutent de la théorie de P. Tallal, mais cette dernière, qui admet que de nombreuses questions théoriques restent ouvertes, pense que seule la recherche empirique produira des améliorations tangibles de la lecture.

John HORGAN



UNE ENFANT DE CINQ ANS interagit avec un programme ludique d'apprentissage du langage.

années 1980. Cette technique mesure les changements d'activité métabolique du cerveau lors d'une tâche cognitive. Non invasive, elle permet l'exploration des capacités cognitives des enfants.

La neurobiologie de la lecture

Depuis 1994, avec plusieurs collègues de l'Université Yale, nous avons analysé le fonctionnement cérébral de la lecture sur plus de 200 enfants et adultes dyslexiques ou non. Aujourd'hui, nous pouvons proposer un schéma cérébral de la lecture. L'identification de lettres active des sites dans le cortex extra-strié du lobe occipital. Le traitement phonologique a lieu dans la circonvolution frontale inférieure et l'accès à la signification sollicite des régions des circonvolutions temporales moyenne et supérieure.

À notre surprise, nous avons observé que la représentation des mots lus s'effectue en des sites différents selon le sexe : chez les hommes, le traitement phonologique met en œuvre uniquement la circonvolution frontale inférieure gauche, tandis que, chez les femmes, il active aussi la circonvolution frontale droite. Ces différences de latéralisation, pressenties à la suite d'études du comportement, n'avaient jamais été démontrées ; c'est même la première preuve concrète de différences liées au sexe pour l'organisation cérébrale d'une fonction cognitive. La bilatéralité des traitements phonologiques chez la femme expliquerait pourquoi, après un accident vasculaire cérébral touchant le côté gauche du cerveau, les femmes ont moins souvent que les hommes des déficits graves de leurs capacités linguistiques, et pourquoi elles compensent mieux leur dyslexie que les hommes.

L'identification des sites cérébraux dévolus au traitement phonologique de la lecture nous donne maintenant une «signature» neurale possible de la lecture : nous pourrions désormais diagnostiquer la dyslexie par imagerie, et nous pourrions également tester les effets des traitements sur les systèmes neuraux responsables de la lecture.

Le déficit linguistique des dyslexiques est souvent accompagné de bonnes capacités de raisonnement, d'une pensée critique et d'un vocabulaire important. Les dyslexiques compensés, tels que Gregory, peuvent ainsi

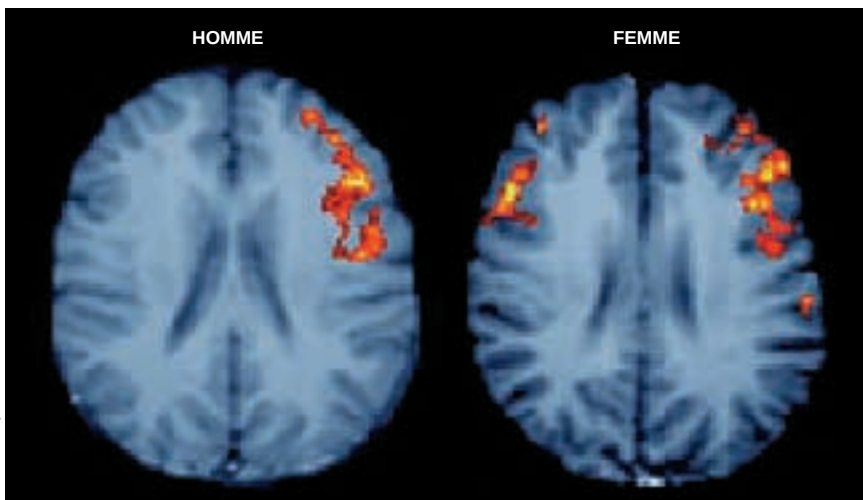


LES MATHÉMATICIENS

Pour comprendre le processus de la création mathématique, il faut saisir ce qui fait l'originalité d'un mathématicien. Cet ouvrage réunit les portraits de quinze grands mathématiciens. Leurs rapports avec leur époque, le regard qu'ils portent sur leur activité sont plus qu'anecdotiques : ils révèlent la genèse des idées nouvelles et mettent en lumière le caractère audacieux, dynamique et imaginaire de l'invention mathématique.

Voir bon de commande p. 98

POUR LA
SCIENCE
DIFFUSION BELIN



5. L'IMAGERIE PAR RÉSONANCE MAGNÉTIQUE FONCTIONNELLE a révélé les centres cérébraux de la lecture. Lors du processus phonologique, les hommes ont une activation unilatérale dans la partie inférieure du lobe frontal gauche. Pour les femmes, le processus phonologique active les parties droite et gauche du lobe frontal inférieur.

Les mythes de la dyslexie

L'écriture miroir est un symptôme de la dyslexie.

L'écriture inversée et le retournement des lettres sont courants lors des premiers stades d'apprentissage de l'écriture, aussi bien parmi les dyslexiques que parmi les non-dyslexiques. Les enfants dyslexiques ont des problèmes pour énoncer les lettres, non pour les écrire.

La rééducation visuelle est un traitement de la dyslexie.

Plus de 20 années de recherche ont montré que la dyslexie résulte d'un déficit du langage. Il n'est pas démontré que des exercices visuels compensent ce déficit.

Il y a plus de garçons dyslexiques que de filles dyslexiques.

On identifie plus de problèmes de lecture chez les garçons, mais les statistiques sont biaisées. La prévalence de cette déficience est presque identique pour les deux sexes.

La dyslexie s'estompe avec le temps.

Un suivi annuel d'enfants, du cours préparatoire jusqu'en terminale, a montré que la dyslexie persiste chez l'adulte. Bien que beaucoup de dyslexiques lisent bien, leur lecture reste lente et saccadée.

Les personnes intelligentes ne peuvent pas être dyslexiques.

L'intelligence n'est en aucune façon liée au processus phonologique. Léonard de Vinci, Auguste Rodin, Hans Christian Andersen ou Albert Einstein étaient dyslexiques.

s'aider du contexte pour se souvenir des détails spécifiques. Toutefois, lorsque les détails ne sont pas unifiés par des idées communes ou par des cadres théoriques (par exemple, lorsque Gregory doit mémoriser de longues listes de noms sans rapport entre eux), les dyslexiques sont désavantagés. Même lorsque Gregory réussit à mémoriser ces listes, il a des difficultés à retrouver les noms à la demande, comme il doit le faire lors d'un examen de fin d'année. Le modèle phonologique prédit que la mémorisation et le recouvrement rapide des mots sont particulièrement difficiles pour les dyslexiques ; l'expérience confirme cette prévision.

Même lorsqu'un individu dys-

lexique possède une information, la recherche rapide de cette dernière et son énoncé oral entraînent souvent l'émission d'un phonème apparenté. Les phonèmes correctement retrouvés peuvent aussi être mal ordonnés. Ainsi, les dyslexiques ponctueront leur discours d'un grand nombre de «euh», «ah», et autres signes d'hésitation. Cependant, lorsqu'il n'est pas sommé de produire des réponses rapides, le dyslexique est capable d'une excellente présentation orale. De même, pour la lecture, alors que les lecteurs normaux décodent les mots automatiquement, les personnes telles que Gregory ont souvent besoin du contexte pour identifier des mots. Ce recours les ralentit. En outre, l'absence de contexte qui caractérise les questionnaires à choix multiples pénalise beaucoup les dyslexiques.

Nos expériences indiquent toutefois que nombre de dyslexiques compensés raisonnent et conceptualisent mieux que les non-dyslexiques : un déficit phonologique masque souvent d'excellentes capacités de compréhension. De nombreuses écoles et universités qui commencent à comprendre la nature circonscrite de la dyslexie évaluent aujourd'hui les performances de leurs étudiants dyslexiques par des examens et par des présentations orales avec préparation plutôt que par des tests de mémoire pure ou par des questionnaires à choix multiples. Tout comme les chercheurs ont commencé à comprendre les fondements neurologiques de la dyslexie, les éducateurs reconnaissent les implications pratiques de ce handicap.

Sally SHAYWITZ est codirectrice du Centre pour l'étude de l'apprentissage et de l'attention de Yale.

C.-L. GÉRARD, *L'enfant dysphasique*, éditions de Boeck, 1994.

Isabelle Y. LIBERMAN, Donald P. SHANKWEILER et Alvin M. LIBERMAN, *The Alphabetic Principle and Learning to Read*, in *Phonology and Reading Disability*, sous la direction de D.P. Shankweiler et I.Y. Liberman, University of Michigan Press, 1989.

Learning to Read, sous la direction de Laurence Rieben et Charles A. Perfetti, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, N.J., 1991.

Sally E. SHAYWITZ, Michael D. ESCOBAR, Bennett A. SHAYWITZ, Jack M. FLETCHER et Robert MAKUCH, *Evidence That Dyslexia May Represent the*

Lower Tail of a Normal Distribution of Reading Ability, in *New England Journal of Medicine*, vol. 326, n° 3, pp. 145-150, 16 janvier 1992.

Bennett A. SHAYWITZ, Sally E. SHAYWITZ, Kenneth R. PUGH, R. Todd CONSTABLE, Pawel SKUDLARSKI, Robert K. FULBRIGHT, Richard A. BROWNEN, Jack M. FLETCHER, Donald P. SHANKWEILER, Leonard KATZ et John C. GORE, *Sex Differences in the Functional Organization of the Brain for Language*, in *Nature*, vol. 373, pp. 607-609, 16 février 1995.

G. Reid LYON, *Toward a Definition of Dyslexia*, in *Annals of Dyslexia*, vol. 45, pp. 3-27, 1995.

Des renseignements sur la méthode de P. Tallal sont disponibles sur le Web à l'adresse : <http://www.scilearn.com/>

