

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.

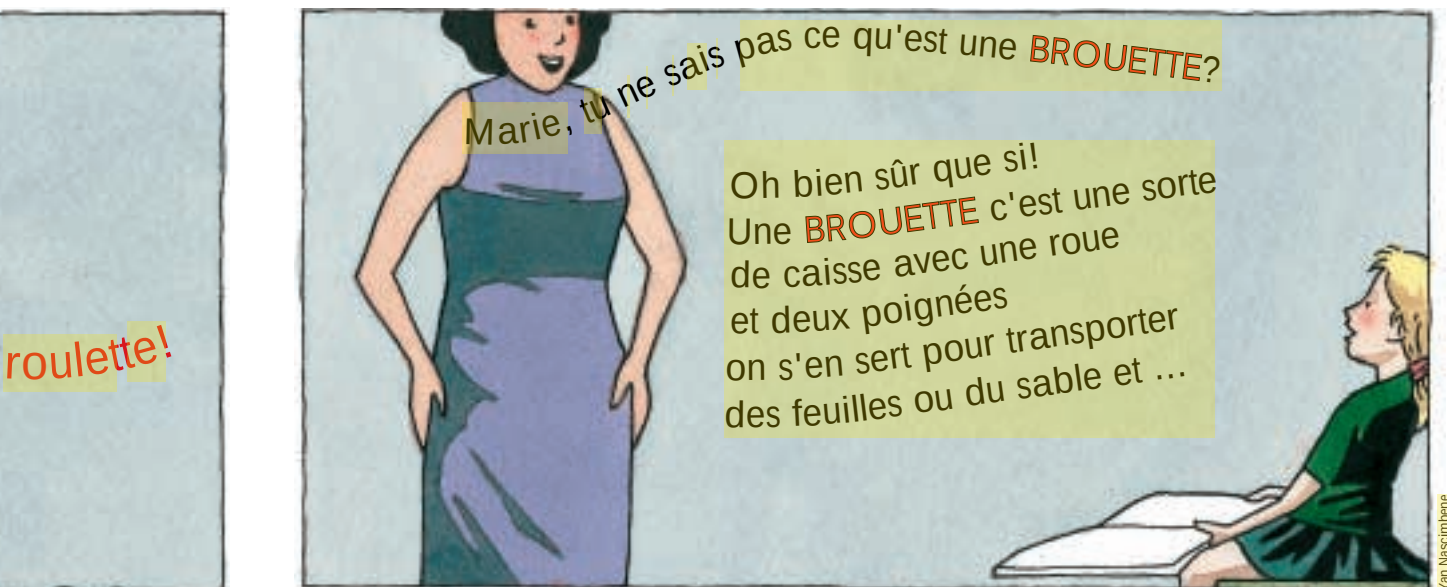
Cette décomposition est automatique et inconsciente. Noam Chomsky et, plus récemment, Steven Pinker, de l'Institut de technologie du Massachusetts, ont démontré que le langage est inné : les êtres humains l'apprennent dès qu'ils l'entendent. Un module phonologique génétiquement déterminé assemble automatiquement

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.

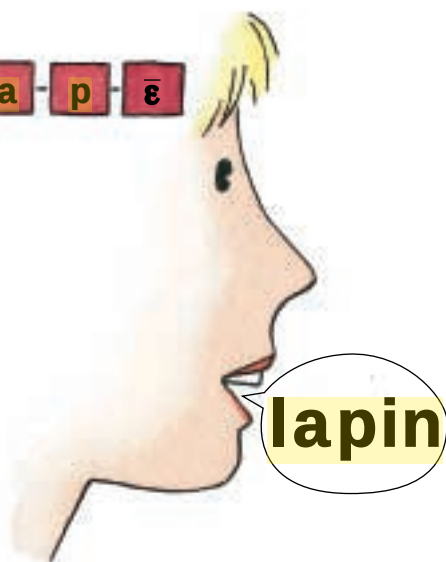
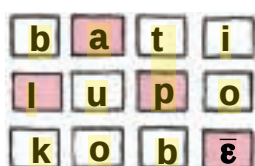
Cette correspondance est également corroborée par une enquête que nous menons dans le Connecticut depuis 1983. Chaque année, nous faisons passer des tests à 445 enfants tirés au sort. Nous avons ainsi observé que 20 pour cent environ des enfants scolarisés sont dyslexiques : cette proportion est à rapprocher 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

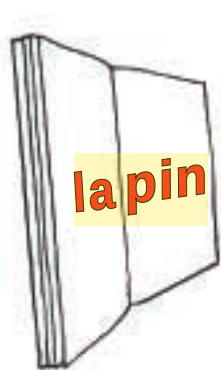
Au cours des années 1980, les psychophysiologistes ont commencé à étudier explicitement les relations entre la conscience phonologique et la lecture. À l'Université d'Oxford, Lynette Bradley et Peter Bryant ont montré que l'aptitude phonologique des enfants de maternelle est un indicateur de leurs capacités 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.

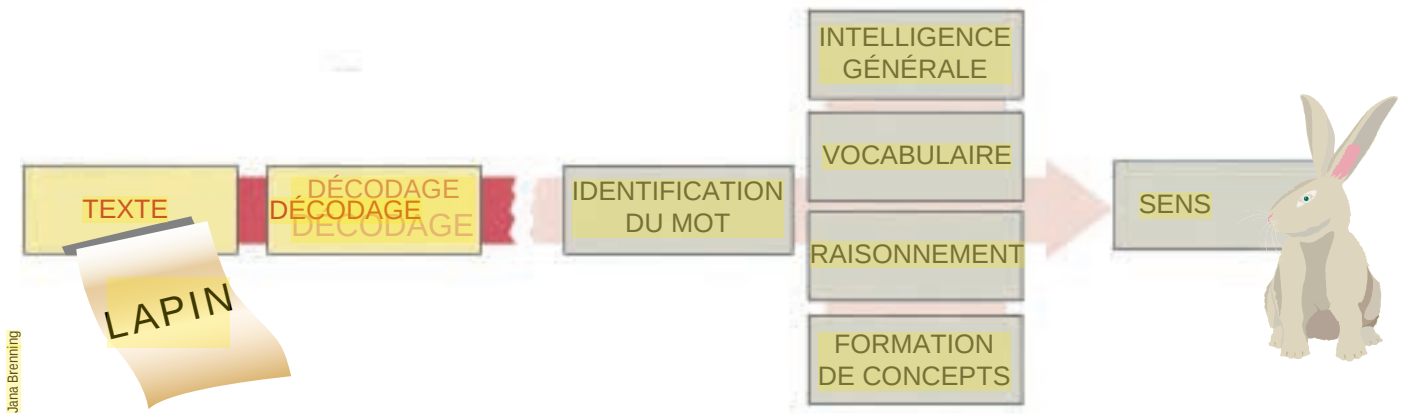
Un test d'analyse des sons semble un révélateur particulièrement fiable



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.



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-

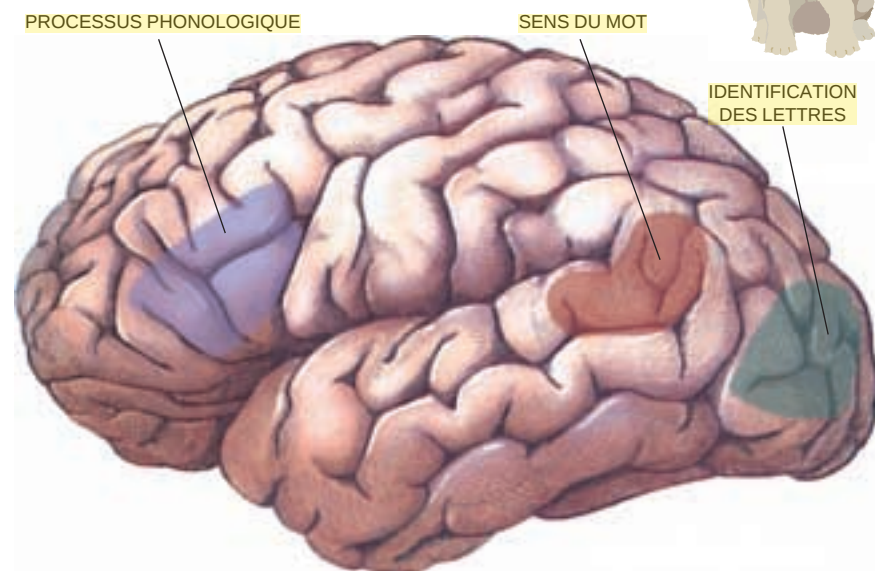
mifère avec de grandes oreilles). Dans la dyslexie, une déficience phonologique perturbe le décodage, empêchant le lecteur d'utiliser son intelligence et son vocabulaire pour accéder à la signification du mot.

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.

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.