

Séance du 30 novembre 2009

La Lecture et ses Neurones

par Alain SANS

Les processus neuronaux qui sous-tendent la lecture dépendent des processus de **plasticité** cérébrale qui sont, entre autre, à la base de l'apprentissage. La plasticité cérébrale est l'aptitude du cerveau à modifier ses réseaux neuronaux en permettant le remodelage des connexions synaptiques préalablement établies. C'est un processus dynamique, essentiel à l'acquisition de l'expérience.

Le système nerveux de l'homme compte 100 milliards de neurones. Au cours du développement, ses connexions, de l'ordre du million de milliard, se mettent progressivement en place et leur stabilisation atteint leur pleine maturité vers l'âge de 18 ans. Pendant les premiers périodes de la vie post natale, ces connexions synaptiques, éminemment sensibles à l'activité neuronale vont se stabiliser. Seules les plus actives persisteront, les moins actives étant éliminées ou resteront dormantes. Cette plasticité diminue à l'âge adulte, sans pour autant disparaître. La plasticité cérébrale est d'autant plus active qu'elle se produit chez un organisme jeune. C'est pourquoi l'apprentissage de la lecture, qui nécessite la formation de nouvelles connexions, doit se faire dans les premières années qui suivent la naissance, au cours d'une période où le cerveau de l'enfant n'est pas encore totalement mature et permet une plasticité synaptique optimale. En effet, l'apprentissage de la lecture mobilise un grand nombre de circuits neuronaux qui vont être soumis, du fait même de cet apprentissage, à de nombreuses contraintes entraînant un remodelage du câblage neuronal préexistant. La possibilité d'un remodelage persiste à l'âge adulte mais diminue sensiblement, impliquant un apprentissage plus laborieux.

Lire est un processus mental qui consiste à déchiffrer des symboles ou codes constitués par l'écriture, elle-même processus éminemment culturel. L'écriture a été inventée par les Sumériens il y a environ seulement 5 400 ans alors que l'espèce humaine *Homo sapiens* est apparu il y a 195 000 ans. Cela implique que le cerveau humain a dû recycler une partie de son territoire cérébral, préalablement dévolu à certaines formes visuelles de son environnement. Cette opération n'a pu se faire que grâce aux exceptionnelles capacités de plasticité du système nerveux central. En cas de lésion focalisée du système nerveux, un remodelage plus important peut concerner les structures nerveuses : c'est la vicariance ou prise en compte fonctionnelle d'un groupe neuronal par un autre.

Le texte qui suit, abordera tour à tour :

- 1 – Les particularités de la lecture
- 2 – Les aires corticales dévolues à la lecture et l'apport de la neuro-imagerie
- 3 – Les processus neuronaux de la lecture

La lecture et ses particularités

Invariance perceptive des lettres

La reconnaissance d'un mot est rendue très complexe dans la mesure où des dizaines d'images différentes peuvent correspondre au même mot. Celui-ci peut être écrit avec des lettres de taille plus ou moins grande, il sera cependant perçu et reconnu pour autant que son image puisse se former sur la rétine. Il en sera de même, qu'il soit écrit à la main, imprimé avec différentes polices de caractère, en minuscule ou en majuscule. En effet, si l'on examine par exemple une lettre comme la lettre **a**, sa forme est très différente selon que cette lettre est écrite en majuscule (**A**) ou en minuscule (**a**). Or le cerveau considère qu'il s'agit de la même lettre. En dépit de cette grande variété de taille et de formes, nous arrivons invariablement à identifier les mots. C'est ce que l'on appelle, l'invariance perceptive. A l'inverse, des lettres de formes très voisines, comme par exemple, les lettres **o** et **e**, nous apparaissent comme très dissemblables. Par l'apprentissage, nous avons appris à négliger de grandes différences de formes ou à amplifier des différences mineures. Nous pouvons même ne pas nous apercevoir d'erreurs typographiques ou même de l'absence d'un mot. C'est l'anomalie bien connue de la "cécité du correcteur". Ces quelques remarques prouvent, s'il en était besoin, que la lecture est une opération mentale, très sophistiquée, qualifiée de cognitive par les spécialistes et qui nécessite un apprentissage long et difficile.

Lecture à voie haute et lecture silencieuse

Dans de nombreux pays, lire est une opération culturelle très largement répandue (encore que dans notre pays, près de 10% des adultes auraient des difficultés à lire et à écrire) Il n'en a pas toujours été de même. C'est ainsi que jusqu'au X^e siècle, lire est réservé à une élite très restreinte, d'autant plus que les textes sont écrits généralement en latin, uniquement en majuscules, sans intervalles, sans ponctuation ni mise à la ligne. La lecture est alors considérée comme "l'action matérielle de lire à haute voix. C'est "*l'oreille et non l'œil*" qui éclaire le texte. Suite à l'instauration de la ponctuation au XV^e siècle, la lecture devient plus aisée, tandis que les progrès de l'imprimerie (1452-1454), réalisés grâce à Gutenberg amène une large diffusion de l'écrit. Par la suite, le lecteur "s'approprie" le livre ; la lecture qui était jusqu'alors essentiellement orale, devient silencieuse (Mikaël Demets 2008) Lire est alors pour le lecteur l'action de prendre connaissance d'un texte pour soi, pour l'instruction, le plaisir. Actuellement, on assiste, avec l'émergence des nouvelles technologies de la communication et le développement des SMS, à un retour en force de l'oralité. Les SMS ne deviennent intelligibles que lus à haute voix. Depuis l'invention de l'écriture par l'homme, notre comportement dans l'acte de lire a donc changé, accomplissant curieusement un mouvement circulaire au fur et à mesure de l'amélioration des techniques de l'écriture et de la communication. Mais cette évolution nous apprend que dans l'acte de lire, vision et audition sont indissociablement liées. Notre cerveau s'appuyant plus ou moins, selon le cas, sur l'oralité ou la vision. En effet, les spécialistes s'accordent pour penser que même au cours de la lecture silencieuse, on prononce intérieurement les mots, du moins pour les mots peu fréquents, irréguliers ou nouveaux. C'est pourquoi ils ont postulé l'existence d'une voie directe lexicale et d'une voie phonologique indirecte. Vision et audition contribuent toutes deux aux processus neuronaux de la lecture. Ceci apparait

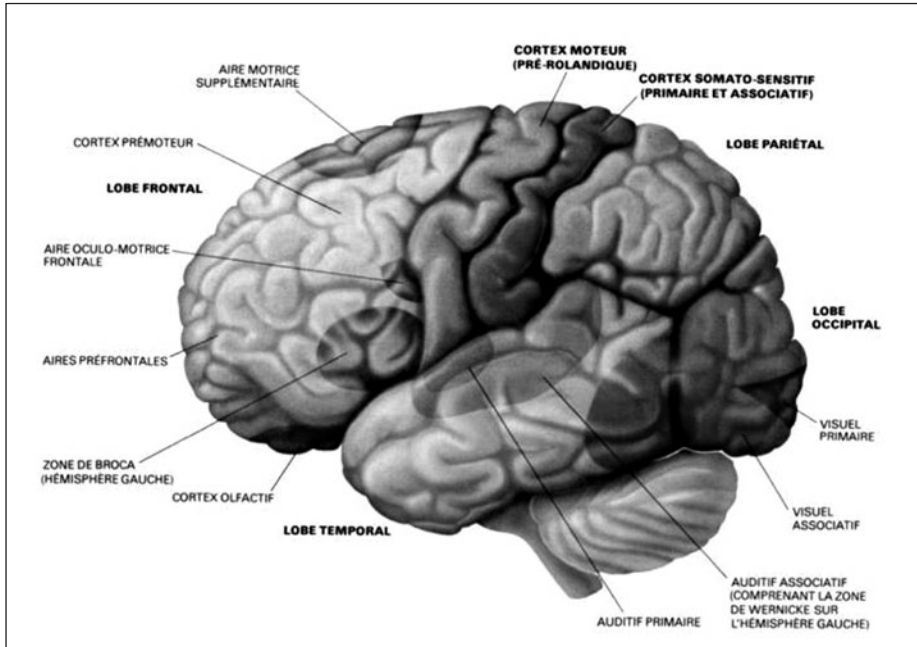


Fig. 1: Représentation schématique du cortex cérébral de l'Homme.

clairement au cours de l'apprentissage de la lecture chez les jeunes enfants qui commencent à lire à haute voix, avant d'être suffisamment experts pour pouvoir lire en silence. Cette contribution réciproque des systèmes sensoriels, visuel et auditif est particulièrement bien illustrée, en neuro-imagerie, par l'activation des aires cérébrales corticales (Fig. 1) au cours de la lecture.

La lecture et ses aires corticales : l'apport de la neuro-imagerie

Historique de l'alexie

La première description du centre de la parole est due à Bouillaud qui en 1825 situe "l'organe législateur de la parole" dans les lobes antérieurs du cerveau. Cette opinion fût vivement critiquée par les anti-localisationnistes comme Flourens. A la même époque un chirurgien de Napoléon, le docteur Dax (1836) soutient que les troubles du langage sont en rapport avec des lésions antérieures du cerveau gauche. Broca (1865) localise le centre du langage articulé au niveau du pied de la 3^e circonvolution frontale et Trousseau donne le nom d'aphasie aux troubles du langage articulé. Peu après un médecin allemand, Wernicke (1874) décrit un autre type d'aphasie à la suite de lésions de la 1^{re} circonvolution temporale. Le patient ne comprend pas ce qu'on lui dit (surdité verbale), ni ce qu'il lit (alexie) En 1892, le neurologue Joseph-Jules Déjerine rapporta le cas d'un patient qui présentait une incapacité à lire, mais pouvait cependant écrire sous la dictée, sans pouvoir lire ce qu'il avait écrit. Ce trouble étant bien isolé et spécifique, il le qualifia de "cécité

verbale”, que l’on nomme aujourd’hui “alexie pure” ou “alexie sans agraphie”. Le patient décéda quelques années plus tard et lors de son autopsie, Déjerine découvrit des lésions anciennes au niveau du lobe occipital (visuel) gauche et du faisceau de fibres nerveuses associées(lésion calleuse) Il en déduisit qu’il existait un centre spécifique de la lecture situé dans le cortex cérébral gauche, qui avait été déconnecté, “déafférenté”, des aires visuelles : “le centre visuel des lettres”. Il situa ce centre dans le gyrus angulaire (lobe pariétal inférieur et premières circonvolutions temporales) A la suite de ces observations, Geschwind (1965) élaborait un schéma global des aires corticales impliquées dans la prononciation de mots lus. Ce schéma comprenait les aires visuelles primaires, le gyrus angulaire, l’aire de Wernicke située dans le lobe temporal (et considérée comme une aire d’intégration des messages visuels et auditifs), puis de là, par un faisceau de fibres nerveuses (faisceau arqué) les projections s’effectuaient dans l’aire de Broca et enfin dans les aires motrices permettant la phonation. Déjerine, puis Geschwind avaient donc une vision sérielle de la lecture, selon laquelle les centres nerveux traitaient les informations pas à pas et successivement. Les informations visuelles gagnaient le centre visuel des lettres, puis le centre des images auditives des mots, la région de Broca où les mots prenaient - sens et forme articulée- pour finalement atteindre la zone motrice permettant leur prononciation (Fig. 2)

Centres de la lecture et imagerie par résonance magnétique

Nos connaissances ont considérablement progressé ces dernières années, grâce à l’apport de l’imagerie par résonance magnétique. Elle permet en effet de voir le cerveau travailler en temps réel et donc de détecter les aires corticales qui s’activent au cours d’une tâche. De nombreux travaux ont été consacrés à ce sujet. Récemment, Cohen et coll. (2000 ; 2003) ont montré l’existence d’un centre de l’analyse visuelle des mots situé dans la région occipito-temporale gauche. Cette aire corticale jouerait un rôle essentiel dans l’analyse de la forme des lettres, leur reconnaissance et leur assemblage en mots. C’est pourquoi ces auteurs l’ont dénommée “*région de la forme visuelle des mots*”. Cette région jouerait un rôle pivot, en ce qui concerne la lecture, puisqu’elle se projette sur un grand nombre d’aires impliquées également dans le langage. Sur le schéma de la figure 3 on distingue en effet une projection en étoile, vers au moins deux réseaux interconnectés permettant l’accès au sens et à la prononciation (Fig. 3) Cette conception moderne, en parallèle, des réseaux de la lecture, qui a grandement bénéficiée de l’apport de l’IRM fonctionnelle est très différente de la conception sérielle postulée par Geschwind en 1965. Cependant des points communs se retrouvent entre les deux conceptions qui cadrent avec l’observation de l’évolution de la lecture au cours de la période historique. En effet, dans le premier chapitre, l’accent a été mis dans les allées et retours entre la lecture orale et la lecture silencieuse. Or, les centres de la vision mais aussi dans une certaine mesure, ceux de l’audition, participent à l’action de lire. Les centres de l’audition situés dans le lobe temporal sont en partie “irrigués” par des projections issues de la région de la forme visuelle des mots (occipito-temporale ventrale) A n’en point douter, ces centres sont appelés à évoluer, en relation avec les progrès techniques des moyens de communications qui agissent indirectement sur notre façon d’appréhender l’écrit.

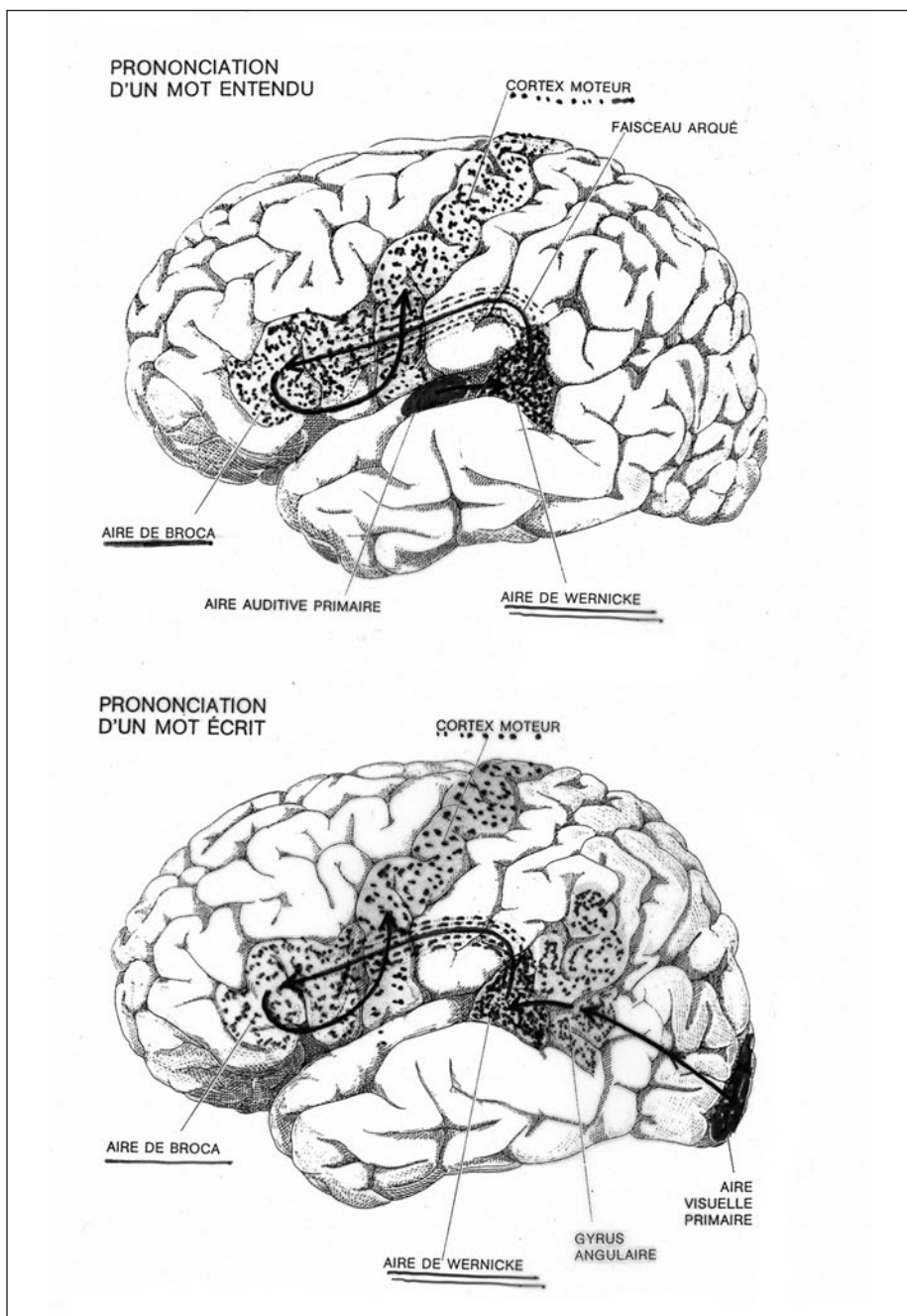


Fig. 2: Aires corticales impliquées dans le modèle sériel de la lecture (schéma du bas) et dans la prononciation d'un mot entendu. Emprunté à la revue "Pour la Science".

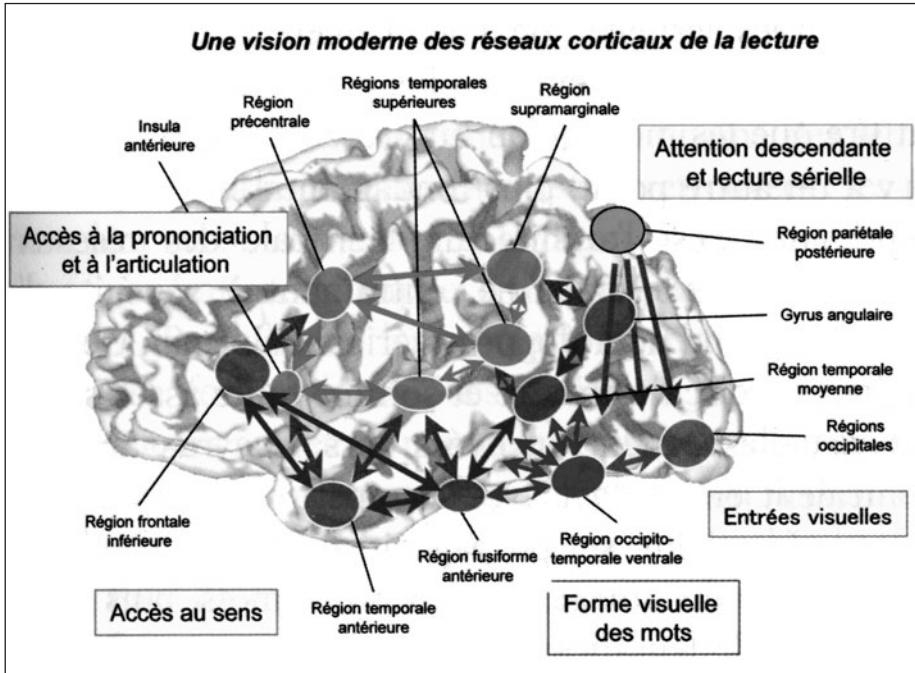


Fig. 3: Vision moderne des réseaux corticaux de la lecture. Toutes les interconnexions entre régions sont bidirectionnelles. D'après de S. Dehaene (2000) ; reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur.

Les processus neuronaux de la lecture

Dans l'introduction, l'importance des processus de plasticité synaptique neuronale, dans l'apprentissage de la lecture a été soulignée

En effet, le cerveau du jeune enfant, bien que pré-câblé est susceptible de modifier en partie les connexions de ses fibres nerveuses avec leurs cibles neuronales sous l'effet de l'apprentissage. C'est ainsi que la "région de la forme visuelle des mots", qui reçoit les afférences visuelles doit servir, chez une personne totalement illettrée, à la reconnaissance de formes qui n'ont rien à voir avec la lecture, mais dont les fondamentaux sont identiques. C'est pourquoi quelque soit le type d'écriture utilisé, chinoise ; japonaise ; latine etc...., les projections visuelles concernant la lecture s'effectuent toujours dans la même région cérébrale. Notre cerveau a donc détourné et utilisé les potentialités de cette région, au bénéfice d'une opération hautement culturelle, la lecture. On ne s'étendra pas ici sur les mécanismes de la lecture, le lecteur intéressé se reportera à l'excellent ouvrage de S. Dehaene (2007) : "les neurones de la lecture". Il sera seulement indiqué quelques principes fondamentaux qui permettront d'esquisser un schéma résumant les processus neuronaux de la lecture. L'équipe du professeur Keiji Tanaka a montré que dans le cortex temporal inférieur du macaque, il existait des neurones montrant une très grande sélectivité. C'est ainsi que si l'on présente à cet animal, des images d'une multitude d'objets, de

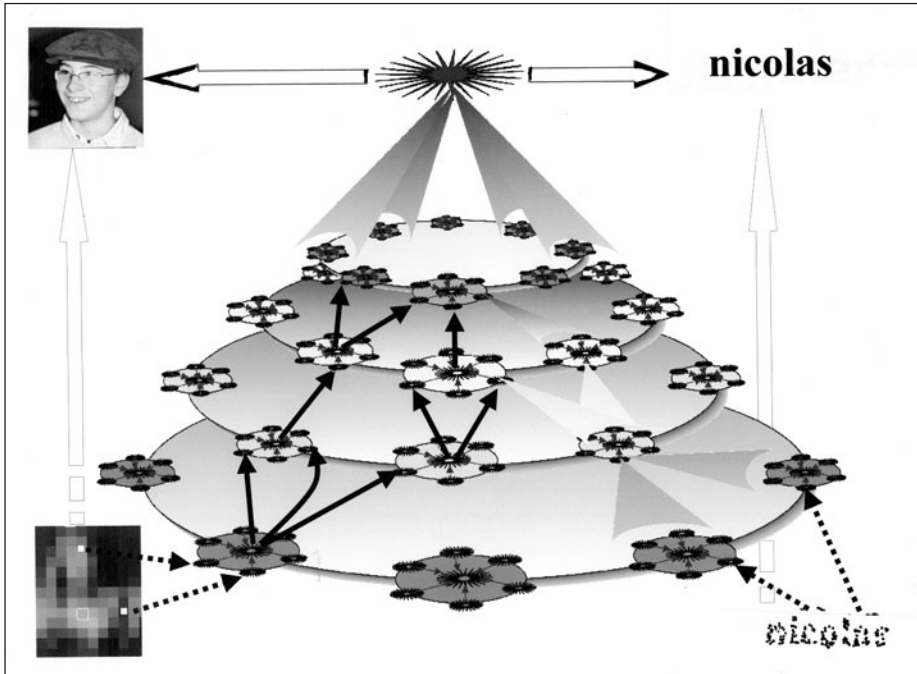


Fig. 4: Représentation schématique de l'organisation des neurones participant à la lecture. Ce schéma est une tentative d'illustration du mode de fonctionnement en parallèle, des neurones situés sur un même niveau et de leur convergence vers les niveaux supérieurs. En bas, à gauche, il est supposé que l'auteur regarde la photo de son petit-fils Nicolas tandis qu'à droite il lit son nom (les neurones du cortex visuel primaire reçoivent les images "pictellisées") En haut un neurone du lobe temporal, au sommet de la pyramide a reconstitué l'ensemble, photo et texte. Réalisation du schéma, J. Lehouelleur.

visages, d'animaux, de formes géométriques, etc. les neurones de cette partie du cortex vont sélectivement répondre à une seule image (Tamura et Tanaka, 2001) (Rolls 2000) Il en est de même chez l'Homme. Au cours de l'opération d'un patient épileptique, il a pu être enregistré un neurone, dans le cortex de la région temporale antérieure, qui répondait spécifiquement à un visage et même à l'écriture du nom qui lui était associé. Il existe donc chez l'Homme des neurones hautement spécialisés, capables d'associer spécifiquement des formes très complexes (visages) et des mots. C'est donc que lorsque nous lisons, des neurones de notre cortex s'activent spécifiquement et sont capables d'intégrer, avec des mots écrits, des formes hypercomplexes. Comment cette performance est elle possible ? Un début de réponse a été donné, toujours dans le laboratoire de Tanaka, spécialisé dans cette problématique. Grâce à une technique sophistiquée permettant de détecter l'activation de neurones situés dans des zones de 2 à 300 microns, puis l'activité unitaire de ces mêmes neurones disposés en colonne, Tsunoda a mis en évidence que ces derniers codent pour une combinatoire de formes élémentaires (Tsunoda et Coll., 2001) et même

pour la position d'objets dans l'espace. Ce processus se retrouve à de très nombreux niveaux hiérarchiques dans le système visuel. La figure 4 esquisse le mécanisme possible des différents processus de la lecture. Les images arrivant sur le cortex visuel primaire sont constitutives d'une partie de la forme à coder. La lettre **a** est par exemple décomposée en ses différents segments, courbes et traits, qui la constituent. Les neurones portant ces informations travaillent en parallèle. L'assemblée de neurones qu'ils forment va intégrer les informations puis converger et se projeter à un niveau supérieur. En résumé, de l'espace visuel provient une multitude d'images qui sont tout d'abord décomposées en leurs éléments constitutifs, "pictellisées" en quelque sorte, pour être reconstituées par des neurones selon un double principe : parallélisme massif et pyramide hiérarchique. Les innombrables neurones travaillent comme des assemblées de petits calculateurs disposés en parallèle qui envoient le résultat de leurs calculs à un niveau hiérarchique supérieur. Le résultat final sera une intégration totale pouvant aboutir à un neurone codant à la fois pour un visage et un nom. Bien sûr, comme il existe un très grand nombre de neurones, la même information finale se retrouvera dans plusieurs milliers d'entre eux. Ces principes ont été mis en application dans l'élaboration des réseaux de neurones formels, simulés sur ordinateur, ce qui permet d'avoir des logiciels de reconnaissance des visages ayant des performances tout à fait remarquables.

Qu'apportent ces connaissances neurobiologiques dans le domaine de l'apprentissage de la lecture ?

Nous savons maintenant que le système visuel reconstruit, après une analyse fine, les lettres, au niveau du système nerveux central. Il est donc logique de considérer que le premier pas, dans la lecture, doit être une connaissance soigneuse et rigoureuse des lettres de l'alphabet. Il a été souligné que le système auditif se trouvant concerné par la lecture, il est donc nécessaire que l'étape suivante soit la découverte par l'apprenti lecteur, que l'association de deux ou plusieurs lettres peut donner un son. C'est le passage du graphème, unité visuelle, au phonème, unité auditive qui semble être l'étape capitale pour le système nerveux, dans l'apprentissage de la lecture. Ces observations plaident fermement en faveur de l'apprentissage de la lecture par la méthode analytique.

Pour en savoir plus : Le lecteur intéressé par ce sujet est invité à consulter l'ouvrage de S. Dehaene "les neurones de la lecture".

BIBLIOGRAPHIE

Bouillaud J.B. *Traité clinique et physiologique de l'encéphalite ou inflammation du cerveau*, 1824.

Broca P. Du siège de la faculté du langage articulé. *Bulletin de la Société d'Anthropologie*, 6, 377-393, 1865.

Cohen L., Dehaene S., Naccache L., Lehéricy S., Dehaene-Lambertz G., Hénaff M.A. & Michel F. The visual word form area : Spatial and temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterior splitbrain patients. *Brain*, 123, 291-307, 2000.

- Cohen L., Martinaud O., Lemer C., Lehericy S., Samson Y., Obadia M., Slachevsky A. & Dehaene S. Visual word recognition in the left and right hemispheres : Anatomical and functional correlates of peripheral alexias *Cerebral Cortex*, 13, **1513-1333**, 2003.
- Dax M. Les lésions de la moitié gauche de l'encéphale coïncident avec l'oubli des signes de la pensée *Congrès Méridional de Montpellier*, 1836.
- Dehaene S. Les neurones de la lecture. Odile Jacob edit. 2007.
- Déjerine J. Contribution à l'étude anatomo-pathologique et clinique des différentes variétés de cécité verbale. *Mémoires de la Société de Biologie*, 4, **61-90**, 1892.
- Demets M. La lecture en silence. Lire à l'œil. *site internet : Evene.fr* . 2008.
- Geschwind N. Disconnection syndromes in animals and man. *Brain*, 88, **237-294**,1965.
- Rolls E.T. Functions of the primate temporal lobe cortical visual areas in invariant visual object and face recognition. *Neuron*, 27, **205-218**, 2000.
- Tamura H. & Tanaka K. Visual response properties of cells in the ventral and dorsal parts of the macaque inferotemporal cortex. *Cerebral Cortex*, 11, **384-399**, 2001.
- Tsunoda K., Yamane Y., Nishisaki M. & Tanifuji M.. Complex objects are represented in macaque inferotemporal cortex by the combination of feature columns. *Nature Neuroscience*, 4, **832-838**, 2001.