

## NEUROPHYSIOLOGIE ET APPRENTISSAGE DE LA LECTURE

Marc Crommelinck

Les neurosciences cognitives ont connu au cours des dernières décennies des avancées remarquables dues principalement à deux facteurs. Le premier est le développement exponentiel des techniques non-invasives (imagerie par résonance magnétique fonctionnelle, électro- et magnéto-encéphalographie notamment) permettant d'identifier chez l'humain, avec une très bonne résolution spatiale, les modules cérébraux impliqués dans les processus cognitifs supérieurs (perception, action, mémoire, mais également émotions, langage, conscience, etc...). Ces techniques d'imagerie sont couplées à des programmes informatiques sophistiqués d'analyse mathématique et de traitement des signaux. D'autre part, ces avancées sont également liées à de nouvelles propositions théoriques, modèles et concepts, qui tentent d'articuler les liens causaux qui se tissent entre un micro-niveau et un macro-niveau. Par micro-niveau on entend ici les structures (en termes anatomiques et histologiques) et le fonctionnement (en termes physiologiques, biophysiques et biochimiques) des modules cérébraux; et par macro-niveau, on se réfère aux états mentaux et comportementaux observables chez les individus mais également aux faits de culture, à savoir aux traces matérielles des créations que l'humanité a accumulées tout au long de son histoire (par exemple les écrits) en ce y compris les compétences culturelles susceptibles, pour chaque individu, de prendre en charge et d'assimiler ces oeuvres (la lecture). Parmi ces concepts, celui

de plasticité est sans conteste un des plus heuristiques. Il permet notamment de rendre compte des mécanismes par lesquels le macro-niveau, dans toutes ses dimensions (et pour l'humain, les dimensions symboliques formant la culture sont essentielles), est susceptible d'exercer une influence significative sur le micro-niveau. Il s'agit de donner corps empirique à ce qui est parfois qualifié de « causalité descendante ». Le concept de plasticité, issu de la physique des états solides, fait référence en neurobiologie aux mécanismes assurant la modifiabilité (relative, notamment au niveau des connexions synaptiques entre les cellules nerveuses) à court ou à long terme des réseaux nerveux sous l'action des facteurs de l'environnement.

Dans ce cadre, l'apprentissage de la lecture chez l'enfant et la mise en place des circuits nerveux spécifiquement dédiés à cette compétence culturelle ont fait l'objet de travaux passionnants par Stanislas Dehaene et son équipe au Collège de France. Je résumerai ici brièvement à la fois le contexte théorique proposé par Dehaene ainsi que les principaux résultats de ses observations à l'appui de ces hypothèses théoriques dans l'étude de la lecture<sup>1</sup>.

Mais avant d'aborder les mécanismes complexes d'apprentissage de la lecture chez l'enfant ainsi que les hypothèses explicatives en termes de plasticité proposées par S. Dehaene, il conviendrait de résumer très brièvement les processus en jeu dans la lecture chez l'adulte. Lire, c'est avoir accès aux sons (accès phonétique) et aux sens (accès lexical ou sémantique) des mots d'une langue à partir de la forme graphique des lettres ou groupes de lettres constituant l'alphabet de cette langue. La lecture d'un texte paraît simple et automatique chez les adultes alphabétisés, tant elle a été entraînée. Et pourtant elle relève de processus neuro-cognitifs extrêmement complexes. Pour faire courte une très longue histoire on pourrait résumer les choses de cette façon. Les graphèmes en tant que formes visuelles complexes sont codés par les modules corticaux de la voie visuelle ventrale - occipito-temporale - (voie spécialisée dans le traitement du « quoi », par opposition à la voie dorsale - occipito-pariétale - qui traite les informations visuelles relatives au « où »). Une région bien délimitée, correspondant à une aire de Brodmann donnée, est spécifiquement activée par le graphisme des lettres, elle a été dénommée *l'aire visuelle de la forme des mots écrits*. Située dans

---

1. Je me réfère pour cette contribution à trois publications de S. Dehaene. Tout d'abord, un article de Dehaene S. & Cohen L., « Cultural recycling of cortical maps », *Neuron*, 56:384-398, 2007; ensuite un best-seller dans le domaine des neurosciences de la lecture par S. Dehaene « Les neurones de la lecture », Odile Jacob, 2007; enfin sous la direction de S. Dehaene « Apprendre à lire – Des sciences cognitives à la salle de classe », Odile Jacob, 2011.

l'hémisphère gauche, aux abords du sillon occipito-temporal latéral, cette aire corticale s'active lors de la présentation visuelle des mots mais pas pour des mots parlés. Cette aire réalise probablement une étape décisive dans la discrimination différentielle des graphèmes, suite aux premiers traitements du cortex visuel primaire (aire 17), et lorsque l'attention sélective focalise le traitement de l'information vers ces cibles graphémiques. Il est probable que ces traitements différentiels sont alors la porte d'entrée de deux voies parallèles: la voie phonologique (ou voie du son) qui va opérer la traduction des graphèmes en phonèmes, et la voie lexicale (ou voie du sens) qui devra décider de l'appartenance du mot au lexique d'une langue (ou à une catégorie lexicale de cette langue), permettant ainsi l'accès au sens.

Qu'en est-il des aspects développementaux ?, comment évoluent ces aires cérébrales durant l'apprentissage de la lecture chez l'enfant ? Et plus précisément, cette aire de la forme visuelle des mots écrits est-elle génétiquement programmée pour prendre en charge ces stimuli visuels (comme très probablement, certaines aires occipito-temporales du gyrus fusiforme sont préprogrammées pour traiter la forme du visage humain) ?

Il semble impossible que des modules du cerveau humain aient pu évoluer spécifiquement pour la lecture suivant les lois darwiniennes de l'évolution biologique, qui se résument assez simplement par la présence d'un générateur de diversités (traduisons en termes modernes par la présence de mutations aléatoires) sanctionnées par la sélection naturelle. Et cela pour des raisons relativement simples. En effet, la lecture est une compétence très récente, liée bien entendu à l'apparition de l'écriture il y a 5500 à 6000 ans (en Mésopotamie, en Egypte...). Cette innovation arrive donc fort tard dans l'histoire de *homo sapiens*, espèce apparue entre 150 et 200 mille ans. D'autre part, jusqu'à une époque très récente (fin du XIXe siècle), la compétence d'écriture-lecture n'était maîtrisée que par une très petite fraction de la population. Dans le contexte de la théorie darwinienne, la récence et la très faible pression sélective n'ont guère pu favoriser le développement de régions cérébrales préprogrammées pour cette compétence. Écriture et lecture ne sont pas des habiletés sous-tendues par des mécanismes innés et des structures préprogrammées, comme le serait la reconnaissance des visages par exemple (qui a une longue histoire phylogénétique).

Quel est donc le mécanisme de plasticité cérébrale qui intervient dans l'apprentissage de la lecture ?

C'est ici que l'on peut, avec Stanislas Dehaene, faire appel à l'hypothèse d'un recyclage d'une carte (aire) cortical. A priori, le concept de recyclage n'est pas difficile à comprendre, il est proche de la notion du sens commun. Recycler, c'est faire du neuf avec du vieux. Dans le cadre d'un mécanisme neurobiologique, il s'agirait de la réutilisation au cours de l'évolution d'un mécanisme ancien sous-tendant une fonction donnée en vue de l'émergence d'une fonction nouvelle, différente de la précédente (S.J. Gould a développé le concept de « exaptation », proche de celui de « recyclage »). Suivons assez précisément le raisonnement de Dehaene dans la formulation de son hypothèse de recyclage. Des acquisitions culturelles très récentes dans l'histoire d'homo sapiens, comme la lecture, trouveraient leur « niche neurale » en réaménageant un ensemble de circuits corticaux (ou cartes) qui sont fonctionnellement suffisamment proches de la nouvelle acquisition (dans le cadre de l'acquisition de la lecture, les modules de la perception visuelle fine) tout en étant suffisamment plastiques pour pouvoir réorienter une partie significative de leurs ressources de traitement initiales (au départ, perception des objets, des visages...) vers le nouvel usage (décodage de l'écrit). En d'autres termes, les innovations culturelles (la lecture par exemple) seraient en quelque sorte *inculquées pour chaque individu par apprentissage* en reconfigurant le fonctionnement d'anciennes structures dédiées à d'anciennes fonctions (ces anciennes structures/fonctions étant alors vues comme des précurseurs) en vue de nouvelles fonctions. Or de nombreuses données empiriques vont dans le sens de cette hypothèse. Et je résume ici en ne reprenant que quelques arguments avancés par Dehaene. Chez l'enfant, avant ou en tout début de l'apprentissage de la lecture, l'aire de la reconnaissance visuelle des mots écrits (occipito-temporale ventrale de l'hémisphère gauche) est principalement activée par des stimuli visuels, et notamment par des visages, et non par des caractères d'écriture (graphèmes). D'autre part, on a pu mettre en évidence à partir d'études longitudinales des augmentations progressives de l'activation de cette même aire corrélées avec les performances de la lecture. De manière progressive donc, les stimuli de type « graphèmes » deviennent de plus en plus pertinents, et petit à petit pris en charge par ces circuits (recyclage fonctionnel). On observe également une diminution concomitante des activations de l'aire correspondante de l'hémisphère droit : c'est au niveau de l'hémisphère gauche que se sont formées les voies phonologiques et lexicales dont nous avons parlé plus haut, et qui sont déjà en place (ne fût-ce que partiellement) au moment où l'enfant apprend à lire. L'hémis-

phère gauche apparaît donc comme une sorte d'attracteur pour tout ce qui concerne le langage.

Pour conclure, citons Dehaene : « *on peut imaginer un processus d'ajustement progressif : à la faveur de l'apprentissage, probablement lors d'une période sensible avec un haut potentiel de plasticité cérébrale, l'habileté à la lecture va progressivement s'améliorer au fur et à mesure du recyclage d'un tissu cortical (optimal pour cette opération), d'abord impliqué dans l'analyse des formes visuelles et notamment des visages, pour devenir finalement spécialisé dans le système de lecture.* ». Il est intéressant de noter que certains troubles que l'on peut rencontrer dans les apprentissages de la lecture (confusions, écriture en miroir, certaines formes de dyslexie...) pourraient être le signe de ce que la nature fait en quelque sorte « de la résistance » à la culture, en maintenant des codes anciens (traitement symétrique du monde visuel) malgré l'apprentissage. Il convient donc d'inculquer les contraintes culturelles, comme par exemple l'asymétrie gauche droite dans les processus de lecture.

Dans l'histoire naturelle de notre espèce, l'introduction du *partenaire culturel* apparaît comme une révolution majeure. Il porte dans son cœur, comme un inestimable trésor, l'extraordinaire richesse des systèmes symboliques, accumulé au cours des âges et susceptible de produire une telle diversité de mondes possibles que nous avons plaisir à habiter.

C'est peut-être là que se situe précisément l'exception humaine.

Ce sont l'innovation et la transmission culturelles qui deviennent les principaux leviers du progrès de l'humanité, mettant à profit l'exceptionnelle plasticité de nos systèmes cérébraux.