

## Sur la relation entre la capacité de compréhension et les zones verbales du néocortex

André Michaud

→ [Click here for English version](#)

→ [Haga clic aquí para versión en español](#)

→ [Hier anklicken für die Deutsche Fassung](#)

### Résumé:

Description générale des zones verbales du néocortex humain et de la manière dont la structure synaptique neurolinguistique qui s'y développe après la naissance établit notre capacité de compréhension. Description du moyen par lequel le modèle neurolinguistique subjectif de la réalité qui se développe dans ces zones peut être contraint à évoluer vers une représentation objective.

**Mots clés:** Pavlov, Chauchard, Hebb, neocortex, zones verbales, pensée conceptuelle, processus de compréhension, modèle subjectif, modèle objectif.

Cet article a maintenant été publié dans le Journal of Biometrics & Biostatistics.

[Michaud A \(2017\) On the Relation between the Comprehension Ability and the Neocortex Verbal Areas. J Biom Biostat 8: 331. doi:10.4172/2155-6180.1000331](#)

En voici la traduction française:

### Introduction

Une notion très répandue veut que la pensée soit quelque chose d'abstrait, d'insaisissable, que nous ne comprendrons jamais vraiment. Rien n'est plus loin de la vérité. En fait, les fondements de la pensée humaine ont été compris par le neurophysiologiste Ivan P. Pavlov vers la fin des années 20, lorsqu'il prit conscience du lien direct qui existe entre la pensée et le langage [1, 2].

Malheureusement, cette conclusion majeure de Pavlov fut apparemment à peine remarquée dans la communauté scientifique mondiale, car à la connaissance du présent auteur, son article de 1932, qui la décrit "*Versuch einer physiologischen Interpretation der Symptomatologie der Hysterie*" ([2], p. 265) n'a pas encore été traduit en anglais, et fut publié en allemand seulement en 1998.

Quelques scientifiques en France y prêtèrent attention cependant, et Paul Chauchard, neurophysiologiste renommé et Directeur de recherche à l'*École des hautes études* dans les années 1940 et 50, continua la recherche de Pavlov avec quelques autres chercheurs français

## Relation entre capacité de compréhension et zones verbales du néocortex

jusqu'à découvrir le lien direct entre le niveau de maîtrise du langage, et le niveau d'aisance et de précision avec lesquels les humains peuvent comprendre les problèmes avec lesquels ils sont confrontés, ce qui correspond en fait, au niveau de compréhension atteint par une personne, soit le niveau "d'intelligence" [1]. Il s'avère donc que le degré d'éveil de l'intelligence, soit de la capacité de compréhension, est fonction directe du degré de maîtrise du langage [3, 4].

Métaphoriquement parlant, le niveau de maîtrise du langage peut être comparé au niveau de résolution d'une caméra. Il semblerait que le plus petit objet qui puisse être identifié par les caméras de satellites mis en orbite en 1997, étaient de la grosseur d'une automobile, car les objets relativement plus petits qu'un seul pixel de résolution de ces caméras étaient *de facto* invisibles. Les caméras satellites plus récentes peuvent identifier des objets plus petits, dû à leur plus grande résolution, faisant appel à de plus petits pixels.

Similairement, Chauchard et ces autres chercheurs ont découvert que nous sommes incapables de comprendre les nuances subtiles des situations, ou de décrire les objets plus clairement que l'étendue du vocabulaire et de la maîtrise générale du langage que nous possédons.

Par exemple, lorsqu'une personne n'ayant aucune notion de mécanique regarde le moteur d'une automobile, elle y pensera comme étant simplement "le moteur", et lorsqu'on lui demandera de le décrire, elle sera typiquement incapable de donner beaucoup plus de d'information à son sujet autre que c'est ce qui propulse l'automobile, et pourra décrire seulement en termes généraux ses formes extérieures et caractéristiques apparentes.

Une personne ayant développé un intérêt pour les automobiles et la mécanique d'autre part sera capable, par exemple, après un simple coup d'oeil, de dire qu'il s'agit d'un moteur à quatre cylindres avec turbo compresseur et transmission transversale intégrée pour traction avant, ou qu'il s'agit d'un moteur ancien style à 8 cylindre V-8 à injection directe pour traction arrière.

La deuxième personne pourrait aussi avoir une idée relativement claire du fonctionnement interne des divers composants du moteur et être capable de le décrire de manière cohérente jusqu'à un certain point, alors que la première personne pourrait bien n'avoir rien du tout venir à son esprit lorsqu'elle tente d'imaginer ce qui pourrait bien se trouver à l'intérieur du bloc moteur.

Finalement, un véritable mécanicien pourrait démonter le moteur, décrire chaque pièce en détail au fur et à mesure, expliquer sa fonction, et facilement réassembler le moteur jusqu'à son état de fonctionnement.

De toute évidence, les descriptions des trois personnes sont correctes, mais à divers degrés de précision. Il peut facilement être compris que même si la première personne ne connaît pas le terme "turbo compresseur", elle peut néanmoins voir la forme du turbo compresseur, mais la verra comme faisant partie du moteur. Ne possédant aucune connaissances à son sujet, et même pas un mot pour le nommer, elle pourra difficilement identifier la partie de son concept de "moteur" qui lui correspond, ni même réaliser qu'il s'agit d'une composante séparée du moteur. Elle sera par conséquent incapable de même "y penser".

Il peut alors être compris que pour "penser" à quelque chose, des "connaissances" et des "mots" sont requis. La conclusion est donc que plus nous possédons de connaissances à propos de quelque chose et plus de vocabulaire nous possédons pour décrire ses diverses "caractéristiques", plus clairement nous serons en mesure d'y "penser", et par conséquent, de le décrire. Pour les caractéristiques pour lesquelles nous n'avons pas de mot spécifique, nous

## Relation entre capacité de compréhension et zones verbales du néocortex

pouvons toujours utiliser une "expression verbale", qui est en fait une "définition verbale" qui remplace le mot spécifique que nous ne possédons pas [3, 4].

À toutes fins pratiques, il semble bien qu'il nous soit impossible de penser à tout événement, objet, concept, etc. plus clairement que le degré de maîtrise du seul instrument que nous possédons pour y penser, soit le langage que nous utilisons. Une maîtrise optimale permet alors une aisance optimale d'expression par le biais du langage proprement dit, comme lorsque nous écrivons, et aussi par le biais d'un langage oral plus simple typiquement complété par une gestuelle non-verbale complémentaire comme lorsque nous parlons avec une autre personne.

## Relation entre intelligence et facilité d'expression

Cette découverte met en lumière que la notion selon laquelle chaque personne posséderait un degré d'intelligence fixe et déterminé par son hérédité est complètement fautive. C'est un fait que le degré de facilité avec lequel chaque personne comprend les choses varie d'une personne à l'autre, quelquefois considérablement, mais cette condition n'est ni fixe ni déterminée génétiquement.

En réalité, elle est uniquement le reflet du degré de facilité d'expression verbale que chaque individu aura développé, en conjonction avec l'habitude qu'elle aura acquise de remettre ses propres conclusions en question.

Cette facilité d'expression verbale et cette disposition à remettre volontiers en question ses propres conclusions sont variables et peuvent augmenter ou diminuer au cours de la vie d'une personne en fonction du type d'activités intellectuelles qu'elle pratique. En d'autres mots, le degré d'intelligence d'une personne peut varier tout au long de sa vie, avec des hauts et des bas.

Une personne qui réfléchit constamment pour comprendre des situations ou résoudre des problèmes de toutes natures, qui lit beaucoup ou qui parle beaucoup sur des sujets variés, a tendance à acquérir une capacité de compréhension plus profonde qu'une personne qui ne pratique aucune de ces activités.

De même, une personne qui ne pratiquait aucune de ces activités et qui commence à en pratiquer une de manière soutenue, verra sa capacité de compréhension augmenter. Si une personne pratiquant une de ces activités cesse de le faire, elle verra sa capacité générale de compréhension progressivement diminuer.

Tous ces changements d'état sont progressifs, bien sûr, et sont suffisamment lents pour que nous ne nous en rendions pas vraiment compte, tout comme nous sommes incapable de percevoir directement le processus de croissance d'un arbre. En pratique, comme pour toute autre activité, plus une personne utilise le mode de pensée verbale, plus elle devient habile à l'utiliser. Le système nerveux est ainsi fait que plus ses diverses parties sont utilisées, plus elles se renforcent suite à un usage fréquent et plus elles deviennent faciles à utiliser.

Selon la découverte de Pavlov ([2], p. 256), le processus de la pensée humaine se présente sous deux formes différentes, soit le mode de pensée par association d'images ("images" pris ici dans un sens très général), et le mode de pensée par association de mots [1, 3, 4]. Le mode de pensée par association d'images est la conséquence de notre conscience directe des perceptions de nos sens et de nos émotions, qui correspondent aux "connaissances" précédemment mentionnées, et le mode de pensée par association de mots, qui correspond au langage que nous utilisons pour penser, comprendre et décrire les "images" du premier mode.

## Relation entre capacité de compréhension et zones verbales du néocortex

Bref, notre conscience d'être, quoi qu'elle puisse être, observe le monde extérieur qui nous entoure et le monde intérieur de nos émotions par le biais de la pensée par association d'images (pensée non-verbale), mais le décrit et le comprend par le biais de la pensée par association de mots (pensée verbale).

Selon les conclusions de Chauchard, Le mode de pensée non-verbal nous procure un mécanisme simple de pensée par association d'images, comme lorsque nous rêvassons, comme lorsque nous évitons machinalement un obstacle en marchant, ou lorsque nous "réagissons", tout simplement, sans trop nous donner le temps de réfléchir, aux diverses situations de la vie courante avec lesquelles nous sommes confrontés, etc.

Nous partageons ce mode de pensée par associations d'images avec les autres mammifères, qui possèdent aussi un néocortex, et avec certaines espèces d'oiseaux, chez lesquels cette activité est supportée par une structure cérébrale différente. Selon les observations de Chauchard, dans le cas des animaux, la pensée par association d'images ne se compare aucunement à la qualité et précision largement supérieure de ce processus chez l'humain, étant donné la beaucoup plus grande complexité de notre néocortex.

En plus de cette capacité supérieure de notre mode pensée par association d'images, notre néocortex nous procure le support neurologique pour une capacité qui est disponible seulement sous une forme extrêmement rudimentaire chez les espèces animales les plus hautement évoluées [5], et qui est le support de notre intelligence, soit le mode de pensée par association de mots, c'est-à-dire le langage, source de notre "capacité de compréhension" illimitée, qui nous permet d'abstraire et généraliser les signaux innombrables constituant les images du mode de pensée par association d'images, tel que découvert par Pavlov.

### **Le niveau d'intelligence peut être contrôlé**

Étant donné le lien direct maintenant identifié entre le langage et l'intelligence, il devient possible d'adapter les méthodes d'enseignement pour favoriser le développement jusqu'au niveau de l'aisance de la capacité d'expression verbale des enfants, et par répercussion directe, le degré de développement de leur capacité de compréhension.

## **Le néocortex humain**

Il est bien connu que le cerveau humain est un organe d'une extrême complexité, comportant environ 100 milliards de neurones. Une seule de ses composantes nous intéresse de façon particulière ici cependant, soit l'écorce extérieure du cerveau ou néocortex. La raison de cet intérêt particulier est que cette mince couche extérieure du cerveau est le siège de la mémoire, de la pensée conceptuelle et de la conscience de soi de l'individu.

Vu d'une certaine manière, le néocortex pourrait même être considéré comme étant l'essence même de l'individu, les autres sous-systèmes du cerveau n'étant là que pour l'alimenter et lui fournir l'information en provenant du monde extérieur dont il a besoin pour entretenir sa pensée conceptuelle; le reste du corps n'étant là que pour assurer sa survie.

Nous avons l'habitude de considérer que nous voyons avec nos yeux, entendons avec nos oreilles, ressentons avec notre peau, etc. C'est vrai bien sûr au niveau général. Mais au niveau biologique, les millions de terminaisons nerveuses connectées à chacun de nos organes sensoriels perçoivent un flot continue d'autant de millions après millions d'événements séparés, qui sont détectés au niveau moléculaire, et alimentent ces perceptions directement à

## Relation entre capacité de compréhension et zones verbales du néocortex

la couche d'entrée de diverses zones de notre néocortex ([6], p. 287), qui les "traite" avant de les livrer sous une forme qui a du sens pour notre "esprit conscient".

En réalité, notre néocortex est l'interface physique entre la réalité physique extérieure ([7], Section II) et notre esprit conscient. Tous les stimuli extérieurs provenant de nos terminaisons nerveuses sont ultimement alimentés dans la couche d'entrée de ce réseau de neurones à 6 couches en un flot continu, et après avoir été traités en passant dans les couches intercalaires, nous procure tout ce dont nous pouvons prendre conscience à la couche de sortie. D'une certaine manière, cette couche de sortie du néocortex est la seule "fenêtre" ou "écran" à travers lequel notre esprit conscient peut observer la réalité physique extérieure et le "monde interne" de nos émotions et pensées conscientes.

Chauchard nommait d'ailleurs cette partie du cerveau le "réseau pensant", un nom très approprié, si l'on considère que la pensée conceptuelle semble être un voyage perpétuel dans la mémoire dont le réseau de neurones de l'écorce cérébrale est le siège.

Le néocortex est en fait le plus extraordinaire des réseaux de neurones qui puisse être imaginé. D'une épaisseur de 2 à 3 millimètres, sa surface atteint la dimension surprenante d'environ 1924 cm<sup>2</sup>. Cette mince feuille comporte au bas mot, selon Chauchard, 14 milliards de neurones de 3 types différents généralement disposés en 6 couches (environ 10 milliards, selon Eccles). Le nombre de liens synaptiques entre ces cellules est pratiquement impossible à évaluer avec précision. Il est généralement accepté que les neurones peuvent être reliés avec de 10,000 à 100,000 autres neurones et même plus, ce qui laisse entrevoir un nombre total de liens synaptiques possibles entre les cellules de l'ordre de dizaines de milliers de milliards à l'intérieur du néocortex.

Pour donner une idée de la disproportion entre le nombre de neurones constituant un réseau et le nombre de liens qui peuvent potentiellement s'établir entre eux, étant donné qu'un neurone peut potentiellement établir un lien avec tous les neurones des autres couches, un groupe d'aussi peu que 300 neurones peut de manière très réaliste établir jusqu'à 20,000 liens entre les cellules du groupe.

Un nombre aussi incalculable de liens dans le néocortex prend une signification toute particulière lorsqu'on considère, comme le mentionne Chauchard, que ce n'est pas le nombre de neurones qui compte en réalité pour expliquer la supériorité de l'homme sur les autres espèces, mais la densité du réseau interconnecté ([8], p. 58); et que la mémoire associative repose sur le réseau d'interconnexions synaptiques entre les neurones, et non pas sur les neurones proprement dits, comme le concluait aussi Hebb en 1949 [7, 8] ([6], p. 640) ([9], p. 146). Selon Hebb, le processus d'apprentissage et de mémorisation implique des changements d'intensité avec laquelle les signaux électrochimiques sont transmis à travers les synapses individuelles. Par conséquent, le nombre astronomique de liens synaptiques présent dans le néocortex de chaque être humain laisse soupçonner une capacité de traitement proprement phénoménale.

L'expression "capacité de traitement" nous fait immédiatement penser aux ordinateurs, ce qui nous conduit à tenter de les comparer au néocortex. Mais ne nous y trompons pas! Contrairement à la croyance généralement répandue, particulièrement dans le milieu de l'informatique, la capacité de traitement des plus puissants superordinateurs à traitement linéaire où parallèle en existence est tout à fait insignifiante en comparaison de celle du néocortex.

En fait, les ordinateurs à traitement linéaire sont incapables de traiter plus d'une instruction ou donnée à la fois (un peu plus avec les processeurs en batteries parallèles), ce qui les

## Relation entre capacité de compréhension et zones verbales du néocortex

relègue à tout jamais derrière les réseaux de neurones, très loin derrière le néocortex, qui, comme tous les réseaux de neurones, peut examiner simultanément autant de données à la fois que sa couche d'entrée possède de neurones et fournir instantanément en temps réel à la couche de sortie les "images" cohérence perçue dans l'ensemble de données fourni à l'entrée.

Même les meilleurs programmes de simulation de réseaux de neurones conçus pour opérer sur ordinateurs linéaires ou parallèles sont assujettis à cette contrainte qu'une seule instruction est traitée à la fois, ce qui dégrade leur performance au point qu'ils ne peuvent donner qu'une pâle idée de la capacité réelle de traitement des véritables réseaux de neurones.

Le lecteur peut prendre conscience d'une manière très simple de la capacité de traitement de son propre cortex visuel, zone du néocortex située à l'arrière du cerveau ([Figure 1], Vi) et comportant environ 400 millions de neurones ([8], p. 263). Il est facile de constater avec quelle facilité notre cortex visuel nous procure les cohérences visuelles en temps réel, cohérences dont nous prenons conscience à mesure quelles sont "affichées", pour ainsi dire, sur la couche de sortie du cortex visuel, à mesure que la changeante information visuelle est fournie à la couche d'entrée du cortex visuel, qui est constituée d'environ un million de neurones ganglionnaires pour chaque oeil, auxquels sont connectés plus de 100 millions de cônes et bâtonnets photorécepteurs pour chaque oeil.

Chaque neurone ganglionnaire reçoit les signaux prétraités d'environ 100 cônes et bâtonnets photosensibles qui sont constamment frappés par les photons de lumière incidents, qui définissent un large éventail d'intensité pour chaque neurone ganglionnaire, ce qui laisse supposer un niveau de résolution effective largement supérieur à celui suggéré par le nombre approximatif de un million de neurones ganglionnaire pour chaque oeil. Étrangement, cette couche d'entrée de la zone visuelle est située plutôt loin du néocortex, soit directement dans la rétine de chaque oeil.

Lorsque nous tournons lentement la tête en regardant autour de nous par exemple, les signaux détectés par les cônes et bâtonnets sont envoyés aux neurones ganglionnaires de la couche d'entrée de la zone visuelle et les cohérences qui existent dans l'ensemble de ces signaux sont "automatiquement" rendues disponibles à la couche de sortie. C'est ainsi que cette couche de sortie, dont notre "esprit conscient" à conscience directe, nous permet de percevoir en temps réel ce qui entre dans notre champ visuel. Cette couche de sortie est disponible pour que notre "conscience d'être" (quoique cela puisse être) l'observe consciemment, soit volontairement ou lorsque quelque chose attire notre attention, ou qu'elle l'ignore, comme lorsque nous rêvassons ou que nous sommes intérieurement concentrés en pensée sur quelque chose d'autre.

La quantité d'information procurée à la couche d'entrée du cortex visuel en provenance des cellules réceptrices des rétines, qui sont frappés à chaque seconde par un nombre énorme de photons en provenance de l'environnement, est littéralement fantastique et constamment renouvelée. Nous pouvons observer que cela n'empêche aucunement le réseau de suivre le rythme sans effort apparent, pour autant d'heures que nécessaire chaque jour, durant toute notre vie.

Le lecteur peut être assuré, que malgré la lenteur bien connue de l'influx nerveux dans les neurones et des réactions chimiques dans les synapses, par rapport aux vitesses phénoménales d'exécution atteintes par les super ordinateurs linéaires modernes, une telle performance est encore totalement hors de portée de ces derniers. Le secret réside dans le traitement simultané par ensembles en temps réel de plus de 100 million de pixels pour chaque "image" procurée. Le secret réside dans la capacité de traitement simultané des ensembles de données des

## Relation entre capacité de compréhension et zones verbales du néocortex

réseaux de neurones par rapport à la capacité de traitement seulement linéaire des ordinateurs conventionnels.

Un autre exemple, peut-être plus frappant de la capacité naturelle du cerveau à percevoir les cohérences disponibles dans des ensembles est le suivant, qui a meublé bien des conversations sur Internet pendant un certain temps:

"Sleon une édtue de l'Uvinertisé de Cmabrigde, l'odrre des ltteers dnas un mtos n'a pas d'ipmrotncae, la suele coshe ipmrotnate est que la pmeirère et la drenèire ltrtee soit à la bnnoe pclae. Le rsete peut êrte dnas un dsérorde ttoal et vuos puoevz tujoruos lrie snas porlblème. C'est prace que le creaveu hmauin ne lit pas chuae ltre ivnedilvdule, mias le mot cmome un tuot."

Le fait que les groupes de lettres soient clairement séparés par des blancs (ce qui informe notre néocortex qu'il s'agit "peut-être" de mots faisant partie d'une phrase), et sont clairement délimités par leur véritable première et dernière lettre (ce qui oriente immédiatement le réseau vers les quelques solutions les plus probables pour chaque mot), fait en sorte que le réseau considère automatiquement la cohérence la plus probable pour chaque groupe de lettres en fonction du contexte qui s'éclairci au fur et à mesure qu'on avance dans la phrase.

Nous pouvons d'ailleurs remarquer que si on proposait ainsi n'importe lequel de ces groupes de lettres sans mentionner les autres, l'information qu'il s'agit possiblement d'un mot faisant partie d'une phrase devient beaucoup moins évidente, et il se présente alors comme un groupe de lettres disparates qui pourrait, à la limite, demeurer inintelligible.

En fait, les réseaux de neurones ne sont pas des ordinateurs au sens où on l'entend généralement, mais des corrélateurs. C'est à dire qu'ils traitent les informations par corrélations simultanée des données de tout ensemble de données fourni à la couche d'entrée, ce qui a pour effet de mettre en évidence toute cohérence qui pourrait exister dans cet ensemble, cohérence qui devient immédiatement et automatiquement disponible à la couche de sortie. Il va sans dire qu'au moins une cohérence doit être présente dans l'ensemble fourni à l'entrée. En fait, les réseaux de neurones sont fonctionnellement incapables de reconnaître quoi que ce soit dans un ensemble totalement incohérent [11].

Bien sûr, le support de la pensée conceptuelle et de la conscience de soi exige beaucoup plus que d'être simplement capable de prendre conscience des cohérences perçues dans l'environnement par le cortex visuel. En fait, ce support exige l'intégration coordonnée en temps réel de l'ensemble des cohérences résultant des perceptions des sens, émotions ressenties et mouvements du corps exécutés par l'individu.

Comme le dit si bien Chauchard au sujet de la couche de sortie du néocortex et des cohérences qu'elle nous procure:

*"C'est de cet ensemble seulement que nous avons conscience. Nous ne connaissons pas le détail de tous les messages qui parviennent, mais seulement leur interprétation d'ensemble, qui seule importe. Le travail cérébral primaire d'interprétation est inconscient ([12], p. 59)."*

Le "travail d'interprétation primaire" inconscient mentionné par Chauchard, est bien sûr le processus automatique d'identification de cohérences qui se produit dans les 4 couches intercalaires internes du néocortex pendant que les signaux entrants se propagent vers la couche de sortie.

## Relation entre capacité de compréhension et zones verbales du néocortex

La compréhension du fonctionnement des réseaux de neurones confirme tout à fait cette observation, car par structure même, il est physiquement impossible que nous puissions avoir conscience des signaux individuels arrivant à la couche d'entrée du néocortex en provenance de chaque terminaison nerveuse. Seules les cohérences globales qui en résultent à la couche de sortie peuvent possiblement attirer notre attention, ce qui permet qu'elles puissent attirer notre attention.

Pour ce faire, le néocortex se subdivise en une mosaïque de régions, chacune remplissant une fonction bien précise. Chacune de ces régions possède la même puissance phénoménale de traitement que le cortex visuel dont nous venons tout juste de prendre conscience.

Quoique la supériorité intellectuelle de notre espèce par rapport à toute autre espèce vivante ne fasse aucun doute, les raisons de cette supériorité ne sont pas nécessairement évidentes et demeurent le sujet de bien des controverses.

L'évolution des espèces vers la complexification nous donne cependant un indice incontournable, au niveau neurophysiologique du moins, d'une raison importante de cette supériorité de l'homme. Il s'agit de l'apparition avec les premières espèces d'hominidés (*homo habilis*, et ensuite *homo erectus*), de deux nouvelles zones dans l'un des hémisphères du cerveau, zones qui n'existent chez aucune autre espèce, même pas les plus proches de nous, et qui atteignent leur plein épanouissement seulement chez les espèces *néanderthalienne* et *homo sapiens*. Il s'agit de l'aire de Broca et d'une grande partie de l'aire de Wernicke, qui sont génétiquement conçues pour supporter le langage chez l'être humain ([8], p. 122).

Comme le constatait Pavlov, cette dernière poussée du processus évolutif a ainsi modifié le code génétique de notre espèce pour que notre néocortex développe les structures nécessaires à l'acquisition du langage articulé ([2], p. 256).

Nous allons maintenant explorer les 2 principaux aspects de l'incroyable édifice neurolinguistique qui s'installe progressivement dans les zones verbales du néocortex à partir de la naissance sous l'impulsion de la manière dont l'enfant apprend à maîtriser le langage; extraordinaire métaphorique labyrinthe virtuel multidimensionnel dans lequel notre conscience d'être circule sans fin, éclairant intensément chaque "salle" au passage de notre "attention", et dont on devine, plus qu'on ne perçoit clairement, l'infinité des couloirs qui en rayonnent dans toutes les directions.

## La fonction de chaque hémisphère

Tel que déjà mentionné, l'apparition et le développement des aires verbales de Broca et de Wernicke se produisent dans un seul des deux hémisphères du cerveau. Ce développement asymétrique a pour conséquence que l'hémisphère non-verbal, malgré une augmentation en volume et en densité cellulaire aussi importante que celle de l'hémisphère verbal, conserve malgré tout la même structure générale que chez les espèces qui nous ont précédées.

Cet hémisphère conserve donc sa fonction générale habituelle de mémorisation de l'ensemble des impressions des sens, séquences d'événements non-verbaux, etc. qui supportent le même type de pensée non-verbale qui caractérise les espèces supérieures proches de nous. Dans notre cas, cependant, la densité fortement accrue du réseau interconnecté nous procure tout de même une qualité de pensée non-verbale infiniment supérieure à celle de ces espèces ([4], p. 119).

Le *coefficient de céphalisation* établi par Dubois est en effet quatre fois plus élevé chez l'être humain que chez les anthropoïdes et il a par ailleurs aussi été déterminé que 33



## Relation entre capacité de compréhension et zones verbales du néocortex

bipartitions cellulaires sont nécessaires à la construction du cerveau humain contre 31 seulement pour les anthropoïdes ([12], p. 92).

La conscience que nous avons de nos perceptions sensorielles aboutit éventuellement à une structuration cérébrale d'ensembles spécifiques d'empreintes synaptiques, qui représentent et remplacent dans notre conscient les objets et événements considérés, et qui deviennent la pensée où l'idée que nous avons de ces objets.

*" Penser, c'est associer les images cérébrales (en donnant au mot " image " un sens général qui dépasse la vue) que l'éducation a créées en nous à partir des messages des sens et qui, évocables par imagination, sont devenus un code intérieur, une manière autonome d'utiliser notre cerveau ([4], p. 121). "*

*Paul Chauchard, 1960*

C'est cette forme de pensée non-verbale qui a été nommée par Pavlov le "*premier système de signalisation*". Les animaux supérieurs possèdent seulement cette forme de pensée, mais sous une forme beaucoup plus élémentaire. L'hémisphère verbal pour sa part, a pour fonction d'organiser et généraliser les "images" non-verbales de l'hémisphère opposé.

*" C'est Pavlov qui a montré que le langage était une conséquence de la complexité cérébrale humaine et qu'il objectifiait la supériorité et la spécificité du cerveau humain par rapport au cerveau animal. Le langage lui est apparu comme une variété spéciale de réflexes conditionnés, un second système de signalisation. Le premier est celui des gnosies et praxies de la pensée directe par images. "*

*A chaque image va se substituer par éducation sa dénomination verbale. Puisqu'il nomme tout, l'homme, au lieu d'associer des images, va pouvoir associer directement les noms correspondants, système plus apte au déploiement des possibilités d'abstraction du cerveau humain ([4], p. 122). "*

*Paul Chauchard, 1960*

## Asymétrie fonctionnelle

Par opposition à l'état d'asymétrie qui caractérise les hémisphères chez l'être humain, les études de Hamilton ont clairement démontré une symétrie chirale absolue entre les hémisphères cérébraux des singes rhésus. C'est-à-dire qu'aucune mémorisation unilatérale, ni aucune différence d'aptitude, ni dans la performance, ni dans l'apprentissage n'a pu être trouvée entre les deux hémisphères, ce qui lui fit conclure en 1977 que tous les faits rassemblés confirment la théorie qu'il n'y a pas de spécialisation d'un hémisphère chez le singe rhésus [14, 15].

Aucune étude exhaustive n'a été conduite chez les autres espèces de singes, mais l'ensemble des observations indique qu'ils sont en général ambidextre et qu'aucune préférence manuelle n'a été manifestée.

Selon toutes vraisemblances donc, notre espèce serait la seule en existence à posséder une telle asymétrie des hémisphères, unicité qui est aussi confirmée par le fait qu'aucune autre espèce ne possède de langage conceptuel articulé. Tous les aspects de cette asymétrie sont clairement mis en évidence par Eccles dans son magnifique ouvrage "*Évolution du cerveau et création de la conscience*" ([8], p. 263), source inestimable de références sur l'essentiel des recherches effectuées au sujet des divers aspects neurolinguistiques de l'évolution du cerveau humain.

## Relation entre capacité de compréhension et zones verbales du néocortex

L'asymétrie hémisphérique se caractérise principalement par la localisation dans les lobes pariétal, temporal et frontal gauches (les lobes droits chez environ la moitié des gauchers, qui constituent approximativement 10% de la population) de larges zones spécialisées dans la production et la compréhension du langage, principalement les aires de Wernicke et de Broca.

Quoique les aires miroirs correspondantes de l'hémisphère non-verbal opposé ne semblent jouer aucun rôle fonctionnel dans la production de la parole, une activité importante peut y être constatée parallèlement à cette production, principalement dans l'aire miroir de Wernicke.

Ce fonctionnement parallèle des hémisphères est très bien expliqué par la découverte extraordinaire de Goldman et Nauta en 1977 [16], montrant que le néocortex humain se subdivise en une mosaïque d'unités pratiquement isolées les unes des autres, qui constitueraient les éléments de base de la structure fonctionnelle du néocortex. Chacun de ces modules est constitué d'un nombre limité de neurones intimement interconnectés, dont quelques axones seulement se projettent vers d'autres modules avoisinants, mais dont le faisceau principal d'axones traverse le corps calleux pour se rendre le plus souvent (mais pas toujours) à un module semblable disposé symétriquement dans l'hémisphère opposé ([8], p. 269).

Levy notait en 1974 que chaque côté du cerveau semble s'occuper de certains ensembles de tâches cognitives logiquement incompatibles entre elles, mais complémentaires. Il concluait que pendant que l'hémisphère droit effectue une synthèse dans l'espace, le gauche effectue une analyse dans le temps. Il concluait aussi que l'hémisphère droit remarque les similitudes visuelles sans s'occuper des similitudes conceptuelles, le gauche fait le contraire. Il est aussi venu à la même conclusion que Pavlov et Chauchard, à l'effet que l'hémisphère droit code les perceptions sensorielles en termes d'image, alors que l'autre les code en termes de description verbale ([17], pp. 121-83).

Cette latéralisation et la spécialisation de zones verbales est d'origine génétique. La formation des aires du langage dans le cerveau s'effectue dès avant la naissance ([8], p. 118), et quoique au début les deux hémisphères participent à l'élaboration du langage [18], l'hémisphère gauche (le droit chez 5% de la population) acquiert petit à petit la prépondérance pour le langage qui est favorisée par sa prédisposition génétique. Ce processus de déplacement se termine habituellement au cours de la quatrième ou cinquième année de l'enfance [19].

La raison pour laquelle ces régions possèdent la faculté d'apprendre toutes les langues tient au simple fait que les neurones de ces zones sont très faiblement interconnectés à la naissance, et que l'ensemble du réseau synaptique verbal de chaque individu se structure spécifiquement en fonction des particularités de la langue apprise sous la pression de cet apprentissage, et ceci, durant la période pendant laquelle le gros de cette construction se produit naturellement pour tous les individus, c'est-à-dire principalement au cours de la période optimalement favorable de l'enfance entre la naissance et l'âge approximatif de 7 ans, âge auquel la myélinisation complète de ces zones est génétiquement déclenchée, mais aussi au cours de l'adolescence ([4], p. 41).

Il est observé que même pendant ses premiers mois, un bébé exerce continuellement son appareil phonateur et fait ainsi l'apprentissage de l'usage de l'organe qui demande la plus complexe des coordinations motrices ([8], p. 101).

## Relation entre capacité de compréhension et zones verbales du néocortex

Même si l'asymétrie hémisphérique et la prédisposition au langage sont d'origine génétique, *le plein épanouissement des zones concernées dépend entièrement des circonstances environnementales* ([20], p. 78). Il a en effet été démontré de manière concluante que si les zones dédiées au langage ne sont pas utilisées avant la puberté, elles auront perdu leur capacité d'apprendre [21] et ([8], p. 112).

Flechsig avait d'ailleurs découvert dès 1920 que les aires de Broca et de Wernicke sont les dernières à se myéliniser complètement, cette myélinisation ne survenant qu'après le plein développement dendritique dans ces zones, développement qui ne s'achève qu'au terme de l'enfance [22] et ([8], p. 121).

Chauchard nous apprend par ailleurs qu'anatomiquement, le cerveau humain n'est achevé, c'est-à-dire ne présente un réseau nerveux complet que vers l'âge de 7 ans ([4], p. 45), ce qui signifie, étant donné que le développement des zones verbales dépend des conditions environnementales, que pour obtenir une structuration optimale de l'ensemble de ces zones, il est indispensable que l'ensemble des apprentissages de l'expression verbale, de la reconnaissance auditive, de la lecture et de l'écriture aient été maîtrisés au moins jusqu'au niveau de l'aisance avant cet âge critique, car tout semble indiquer que si l'un quelconque de ces apprentissages n'est pas maîtrisé durant la petite enfance, il devient plus difficile à acquérir par la suite ([4], p. 52).

C'est pourquoi les enfants qui ont la chance qu'on leur ait appris à lire avant cette échéance limite que constitue le déclenchement de la myélinisation complète des zones verbales sont plus susceptibles de développer un goût pour la lecture et de prendre éventuellement conscience que cela leur donne accès à l'ensemble des connaissances accumulées de l'humanité.

Considérant les observations confirmées de Lenneberg sur les conséquences du défaut d'usage des zones verbales en construction [21], et étant donné que l'ensemble des interconnexions synaptiques des centres de la parole n'existent pas encore à la naissance, malgré la présence de l'ensemble des neurones; et qu'elles se construisent tout au long de l'enfance, leur organisation est obligatoirement fortement influencée par la manière dont les divers aspects du langage sont acquis.

Il est donc certain que tout défaut de procurer ces apprentissages en temps voulu durant la période de construction active de l'enfance aura un impact sur la densité du réseau qui sera directement associé à ces aspects du langage, densité que Chauchard associe directement au niveau d'intelligence qui serait éventuellement accessible à l'individu.

*"Passé l'âge normal du développement des centres du langage, cet apprentissage deviendra difficile.*

*La loi fondamentale du développement cérébral, c'est-à-dire la possibilité de posséder plus tard un cerveau tout à fait normal, jouissant de toutes les aptitudes humaines, exige que la maturation cérébrale trouve toujours le milieu non seulement physique, mais culturel et affectif qui la favorise. On ne peut rien trop tôt, mais très vite, il est trop tard ([4], p. 52)."*

*Paul Chauchard, 1960*

## Structure de l'hémisphère verbal

Examinons maintenant l'organisation d'ensemble des zones verbales.

## Relation entre capacité de compréhension et zones verbales du néocortex

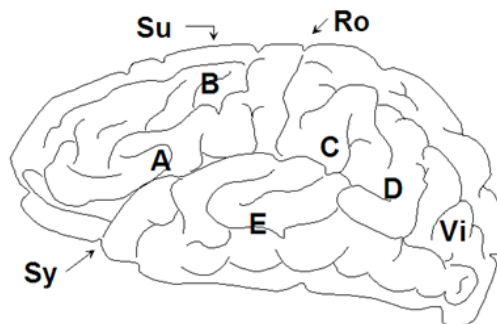


Figure 1: Les zones verbales du néocortex.

L'endroit du néocortex où sont emmagasinées les séquences de mouvements qui doivent être exécutés par les organes phonateurs pour prononcer chaque mot se nomme *l'aire de Broca* ([Figure 1], A) (Aussi identifiées comme les *zones 44 et 45 de Brodmann*, 1909). Il s'agit d'une large zone du lobe préfrontal gauche, située juste devant le centre moteur de vocalisation, juste en haut de la scissure de Sylvius ([Figure 1], Sy), et que Chauchard nomme aussi le *centre de l'articulation verbale* ([8], p. 110) ([4], p. 110).

Cette localisation est un fait établi, car les malheureux accidents qui causent la destruction de cette zone du cerveau ont toujours pour conséquence que la victime devient pratiquement incapable de parler, tout en n'étant aucunement affectée dans sa capacité de comprendre ce qu'elle lit ou ce qu'elle entend, et conserve sa capacité d'écrire. Chauchard situe le *centre pratique de l'écriture* un peu plus haut ([Figure 1], B), dans la *zone 4 de Brodmann*, vis-à-vis du centre moteur des membres supérieurs ([4], p. 110) ([5], p. 48).

La zone du néocortex où les empreintes synaptiques principales de chaque mot se créent dans le lobe temporal gauche est aussi bien connue. Il s'agit de *l'aire de Wernicke* (*zones 39 et 40, ainsi que des parties des zones 21, 22 et 37 de Brodmann*, 1909). Chauchard divise l'aire de Wernicke en trois zones: 1- le *centre sensoriel du langage* ([Figure 1], C) (*zone 40 de Brodmann*), 2- le *centre de la lecture* ([Figure 1], D) (*zone 39 de Brodmann*) et 3- le *centre de l'audition des mots* ([Figure 1], E) (*parties des zones 21, 22 et 37 de Brodmann*). Les zones verbales sont aussi décrites sommairement à la référence [6].

Ces zones vont s'étoffer et s'interconnecter pendant l'enfance en fonction de l'intensité avec laquelle l'enfant pratique les diverses activités qu'elles supportent. Une structuration adéquate demeure encore possible ensuite, mais plus difficilement, principalement par entraînement supplémentaire de la structure synaptique déjà installée durant la période active de construction.

Chaque empreinte verbale de la zone de Wernicke est connectée au niveau synaptique 1) avec la séquence de mouvements phonateurs emmagasinée dans l'aire de Broca et qui sont nécessaires pour prononcer le mot correspondant; 2) avec la séquence des mouvements emmagasinée dans le centre des gestes de l'écriture et qui sont nécessaires à l'écrire du mot; 3) avec son empreinte dans le centre de la lecture; 4) avec celle qui se trouve dans le centre de l'audition; 5) et finalement avec l'ensemble des divers aspects des souvenirs qui lui ont été associés au fil du temps et qui sont emmagasinés sous forme d'images non-verbales dans l'aire miroir de Wernicke de l'hémisphère opposé.

Chez les personnes sourdes qui apprennent le langage des signes ou qui apprennent à lire sur les lèvres, c'est bien sûr le centre de la vision qui est branché "en entrée" au centre de la parole pour permettre que les mots reconnus par signes ou lus sur les lèvres de l'interlocuteur

## Relation entre capacité de compréhension et zones verbales du néocortex

soient dirigés vers les zones verbales. Chez ces mêmes personnes, ce sont les centres moteurs contrôlant les mouvements des bras et des mains qui sont branchés "en sortie" aux zones verbales si la personne apprend le langage des signes. Pour les personnes qui entendent normalement et aussi pour certaines personnes sourdes, les centres moteurs contrôlant les mouvements de la bouche, langue, cordes vocales, etc. sont aussi connectés "en sortie" au centres de pensée verbale.

Chez les personnes aveugles qui apprennent le Braille, ce sont les centres contrôlant les sensations tactiles de la main qui sont branchés "en entrée" aux zones verbales pour permettre que les mots reconnus au toucher soient dirigés vers ces zones.

La localisation des empreintes synaptiques correspondant à chaque mot dans l'aire de Wernicke est tout à fait certaine encore ici, car les destructions accidentelles de cette aire ont toujours pour conséquence que le sujet devient incapable de comprendre ce qu'il lit ou ce qu'on lui dit, tout en demeurant capable de parler (si l'aire de Broca n'a pas été affectée), mais ne produisant que des phrases absurdes, décousues et entièrement dépourvues de sens ([8], p. 110).

Le fait cependant que les empreintes synaptiques correspondant à chaque mot appris s'interconnectent collectivement côte à côte, pour ainsi dire, dans l'aire de Wernicke semble insuffisant en soi pour expliquer comment l'ensemble pourrait s'associer pour constituer une structure cohérente commune qui pourrait nous permettre de penser en combinant ces empreintes verbales, c'est-à-dire, de construire des phrases cohérentes.

À ce chapitre, il est très intéressant de noter qu'il existe une troisième zone réservée au langage, située tout en haut de la *zone 6 de Brodmann*, et qui est nommée *l'aire motrice supplémentaire* ([Figure 1], Su). Cette zone a ceci de particulier, qui a été démontré expérimentalement, qu'elle est toujours la première à entrer en action lorsqu'une personne s'apprête à parler ([8], p. 113).

Par conséquent, il semble tout à fait possible que cette zone puisse être le sommet de la structure, pour ainsi dire, l'endroit où un lien synaptique est établi avec chacune des empreintes verbales de la zone de Wernicke, et qui permet d'associer à volonté celles qui attirent momentanément l'attention de la personne, soit pour les exprimer à haute voix, pour les écrire, ou tout simplement pour y penser conceptuellement, sans nécessairement faire entrer en action les praxies phonatoires de l'aire de Broca. Il est tout à fait possible que l'apex de tout l'édifice neurolinguistique que nous explorerons un peu plus loin se trouve exactement ici.

D'autre part, le même mécanisme de mise en action semble tout à fait capable d'aiguiller des liens conduisant aux divers aspects des souvenirs qu'une personne cherche à mettre en corrélation vers les lobes frontaux, qui sont connus pour entrer en action lorsqu'une personne entre en réflexion profonde.

Eccles nous apprend qu'il a été expérimentalement confirmé que le siège de la "conscience de soi" se trouve dans l'hémisphère qui contient les centres du langage. Il n'y donc qu'un très petit pas à franchir pour conclure que cette conscience de soi pourrait être une conséquence de l'existence de la structure neurolinguistique interconnectée sous l'impulsion de l'apprentissage du langage. Chauchard explore à fond les tenants et les aboutissants de la conscience de soi en relation avec le langage dans son ouvrage "*Le langage et la pensée*" [5].

## Les réseaux de neurones artificiels

Avant d'examiner comment les premiers apprentissages du jeune enfant conduisent à l'élaboration de la structure synaptique neurolinguistique qui supporte la pensée conceptuelle, revenons pour un moment aux explorations de Hebb concernant les réseaux de neurones multicouches artificiels, car il a observé que les difficultés rencontrées par ces réseaux artificiels lors de la résolution des problèmes qui leur sont soumis sont de même nature que celles que nous rencontrons nous-mêmes, mais que dans leur cas, la difficulté semble poussée à l'extrême [11].

Un exemple exhaustivement documenté des difficultés rencontrées lors de l'entraînement d'un réseau de neurones est donné au Chapitre 17 de l'ouvrage très élaboré de Anderson *"Introduction to Neural Networks"* [9], où se trouve documenté un exemple détaillé d'une tentative pour enseigner les opérations arithmétiques à ce réseau de neurones. Notons que dans cette référence, la représentation par "image" est nommée représentation "analogue" et que la représentation par "mots" est nommée représentation "symbolique".

Notons qu'il est important de faire ce parallèle entre les réseaux de neurones artificiels et le néocortex humain, ou "réseau pensant" pour paraphraser Chauchard, car tout apprentissage par un être humain ou par un réseau de neurone artificiel se fait de la même manière, soit par entraînement dans les deux cas. Les conclusions qui peuvent être tirées du mode de fonctionnement des réseaux de neurones artificiels vont nous permettre de mieux comprendre le fonctionnement de notre propre processus de pensée.

Les ordinateurs à réseaux de neurones multicouches artificiels sont peu connus du public ainsi que dans le milieu scientifique en général, où il y a souvent confusion entre les véritables réseaux de neurones artificiels et les réseaux de neurones simulés par programmation sur ordinateurs linéaires conventionnels. Il y a plusieurs raisons à cet état de fait. Premièrement, ils sont très difficiles à construire, mais leur caractéristique la plus rébarbative est que contrairement aux réseaux à une ou deux couches, ils sont absolument impossibles à programmer de manière conventionnelle.

Par conséquent, ils sont très peu répandus et les plus complexes d'entre eux sont pratiquement encore au stade de curiosités de laboratoire malgré des recherches qui durent sporadiquement depuis plus de 60 ans. Ils sont le résultat d'essais destinés à fabriquer des ordinateurs qui pourraient résoudre des problèmes de la même manière que les humains.

Tel que déjà mentionné, il est impossible de les programmer comme les ordinateurs conventionnels. C'est ce qui les rend si peu pratiques. Des centaines d'heures d'entraînement sont nécessaires pour leur apprendre à résoudre certains types de problèmes. Les difficultés rencontrées par les entraîneurs sont de même nature que celles rencontrées lorsqu'on enseigne à des enfants, mais poussées à l'extrême [9].

Ce qui fait qu'une réponse cohérente peut être obtenue à partir des éléments d'un problème quelconque est bien sûr l'utilisation de la logique. Même lorsque nous examinons un ensemble d'éléments dans lequel plus d'un sous-ensemble peut être identifié, nous utilisons la logique pour choisir le sous-ensemble le plus approprié devant être utilisé en contexte. Ce niveau de logique est guidé par simple "préférence", c'est-à-dire que nous "avons l'impression" que dans le cadre de référence établi par le contexte, un sous-ensemble donné est plus approprié au but recherché. C'est ici que les réseaux de neurones artificiels sont irrécupérablement handicapés par rapport à nous.

## Relation entre capacité de compréhension et zones verbales du néocortex

Parce qu'ils ne sont pas vivants, ils ne développent pas de "préférences", et en dépit du fait qu'ils perçoivent les cohérences dans des ensembles de données aussi bien que nous, ils sont incapables de déterminer par eux-mêmes quel sous-ensemble serait le plus approprié en contexte si plus d'un est disponible. La notion de "préférence", qui dépend de si un sous-ensemble apparaît "satisfaisant" ou "plaisant" en contexte, est une notion qu'il a été impossible jusqu'à présent à programmer dans les réseaux de neurones.

À la surprise déçue des premiers chercheurs, il s'est avéré que les réseaux multicouches artificiels sont incapables de faire le moindre raisonnement logique. C'est ce qui fait qu'il est impossible de leur faire chercher la réponse à des problèmes que nous n'avons pas déjà compris comment solutionner nous-mêmes. Nous devons nous-mêmes avoir solutionné un problème avant de pouvoir entraîner un réseau de neurone artificiel à le résoudre.

Ils doivent obligatoirement être entraînés "manuellement", pour ainsi dire, à apprendre à choisir la cohérence appropriée, autrement, ils tendent à livrer la première cohérence qu'ils perçoivent, qu'elle soit la meilleure ou non, la plus appropriée ou non.

Ce qui fait qu'il est tout de même possible de les utiliser malgré ce handicap, est que lorsque des données leur sont fournies en entrée, une réponse, aussi inappropriée soit-elle, est toujours donnée en sortie, et que le réseau peut être entraîné par répétitions et correction de l'ensemble d'entrée à éventuellement "préférer" une solution vers laquelle on le guide à répétition, grâce à une découverte majeure de Donald Hebb à l'effet que les liens synaptiques qui sont l'objet d'utilisation répétée dans le néocortex sont renforcés par cette utilisation persistante pour devenir les chemins de prédilection par la suite [10] et ([6], p. 640).

Pour entraîner un réseau de neurones multicouches, "l'entraîneur" doit procéder d'une manière particulière. Premièrement, il lui fournit en entrée un ensemble de données permettant de résoudre le problème et examine ensuite le résultat obtenu en sortie. Diverses techniques ont été élaborées pour "orienter" le réseau vers la bonne solution, en ajustant progressivement les données fournies en entrées et en resoumettant ces données de manière répétée au réseau [9].

Finalement, il arrive un point où le réseau donne toujours la bonne réponse. Ce réseau est maintenant prêt à être utilisé pour résoudre n'importe quel problème de ce type qu'on voudra bien lui soumettre, et il donnera de manière satisfaisante une réponse pertinente pour chaque cas.

## Acquisition du langage dans la petite enfance

Résumons maintenant ce que nous ont appris les recherches sur les réseaux multicouches artificiels.

- 1- Lorsqu'un ensemble d'éléments est fourni à la couche d'entrée, si quelque cohérence ou similarité de quelle que nature que ce soit existe entre des éléments de l'ensemble, le sous-ensemble concerné sera fourni à la couche de sortie.
- 2- Si plusieurs ensembles de cohérences sont possibles dans un ensemble de données d'entrée, un seul ensemble de cohérences à la fois peut être fourni à la couche de sortie.
- 3- Les cohérences peuvent être sélectionnées par rapport à plusieurs critères.
- 4- Le processus de sélection de l'ensemble le plus approprié de cohérences pour résoudre un problème complexe doit obligatoirement être guidé par "quelque chose".

## Relation entre capacité de compréhension et zones verbales du néocortex

Nous sommes évidemment confrontés au même fonctionnement avec le néocortex, puisqu'il s'agit des caractéristiques de fonctionnement de tous les réseaux de neurones multicouches.

Il est observé que dans le cas du jeune enfant, ce sont les émotions qui sont son premier "guide", en jouant le rôle que "l'entraîneur" remplit auprès du réseau de neurones artificiel. Cet entraînement se produit très tôt dans la vie de chaque enfant et ce sont ses besoins immédiats, comme la faim, l'inconfort, la douleur, le plaisir, etc. qui forment le cadre de références dans le contexte duquel ses "préférences" s'établissent.

Chauchard situe très clairement la source des émotions de l'individu dans l'hypothalamus ([20], p. 62). C'est dans cette partie du cerveau, qu'il décrit comme étant le siège de ce qu'il nomme la "bioconscience", que sont intégrés l'ensemble des signaux biologiques en provenance du reste du corps, et qui sont ensuite fournis à la couche d'entrée du néocortex sous forme de sensations de bien-être ou de malaise. Ce qui est perçu comme assurant les besoins organiques est interprété comme agréable à divers degrés d'intensité, et ce qui est perçu comme étant inapproprié ou dangereux est perçu comme désagréable à divers degrés d'intensité.

*" Il y a donc là un aspect particulièrement développé de la bioconscience qui va acquérir toute son importance du fait que l'écorce cérébrale en tire une information capitale pour la vraie conscience et des moyens d'implantation de celle-ci dans la réalité existentielle et organique. Si nous ne sommes pas pour nous-mêmes un objet observable avec une froide raison, mais une vraie réalité vivante et sentante, nous le devons avant tout à cette intégration hypothalamique ([20], p. 63)."*

*Paul Chauchard, 1958*

Toutes les impressions des sens de l'enfant sont colorées par les émotions que ces impressions suscitent dans l'hypothalamus avant d'être fournies à la couche d'entrée de son néocortex, et cette information est emmagasinée sous forme de souvenirs comme tout autre élément d'information.

Les impressions de ses sens et les signaux internes signalant ses besoins physiologiques lui apportent ses premières "informations", sensation de faim, d'être mouillé, d'être inconfortable parce qu'il est resté trop longtemps dans une même position, d'être dans une position qu'il n'aime pas, entendre un bruit qui lui fait peur, etc.

Lorsqu'un bébé ne se sent pas bien, pour quelque raison que ce soit, ses émotions entrent en action et il réagit naturellement en pleurant ou en criant sa détresse. Au fil du temps, les séquences d'événements qui se répètent finissent par attirer son attention et un jour, la "lumière" s'allume pour la première fois, pour ainsi dire. Il comprend tout à coup que ce sont ses cris et ses pleurs qui font venir "quelqu'un" qui fait ce qu'il faut pour qu'il se sente bien. Il vient de faire son premier lien de cause à effet!

Tous les parents ont remarqué à un certain moment que leur enfant a crié ou pleuré, apparemment volontairement puisqu'ils n'ont pu identifier aucune autre cause autre qu'il voulait seulement vérifier si quelqu'un viendrait le voir suite à son "appel". Les premiers comportements logiques apparaissent. À partir de ce moment, les progrès seront constants.

Bien sûr, il est impératif que les réactions et comportements des parents face aux sollicitations de l'enfant soient cohérents et logiques, sinon l'enfant demeurera confus et son développement vers la sérénité et la maîtrise de soi ne peut qu'en souffrir.



## Relation entre capacité de compréhension et zones verbales du néocortex

À mesure que les jours passent, l'enfant devient de plus en plus habile à évaluer l'information et à tirer ses propres conclusions. Peu à peu, l'enfant découvre comment réagir aux situations pour obtenir les résultats qui le satisfont le plus. Sa logique naturelle s'affine progressivement jusqu'à devenir très fiable. Cet affinement s'induit de la même manière pour tous les enfants. C'est pourquoi cette logique naturelle, qu'on nomme le "sens commun" devient un point de référence "commun" à tout le monde ([7], Chapitre "*Qu'est-ce que la logique*").

Nous venons de mettre le doigt sur la raison pour laquelle les réseaux de neurones artificiels sont incapables d'apprendre à évaluer. Étant donné qu'ils ne sont pas vivants, ils ne se sentent ni bien ni mal, et n'ont donc pas à leur disposition le point de repère qui leur permettrait de commencer à guider par eux-mêmes le processus d'évaluation des informations. Par conséquent, ils sont incapables de "faire le premier pas" qui consiste à prendre conscience que certaines conclusions sont plus "avantageuses" que d'autres par rapport à des "besoins à satisfaire", contrairement aux réseaux de neurones vivants dont la survie dépend du bien-être du corps auquel ils appartiennent.

À mesure que l'enfant grandit, il comprendra de plus en plus clairement comment tirer le meilleur parti possible de sa situation par rapport à son environnement et aux personnes qui l'entourent. Il cherche naturellement à faire le plus possible les activités qu'il préfère, car ce sont ces situations qui lui apportent le plus de satisfactions.

Il utilisera donc sa logique naturelle nouvellement acquise et un peu rudimentaire encore, c'est-à-dire sa capacité croissante d'évaluer l'information "en fonction d'un but à atteindre" pour tourner les situations à son avantage, dans la mesure où il pourra le contrôler.

Cet auto-apprentissage de la logique naturelle précède donc le début de l'apprentissage de la parole. C'est d'ailleurs cet entraînement de l'enfant à percevoir de plus en plus facilement les relations de cause à effet qui est la bougie d'allumage de la glorieuse explosion verbale qui embrasera bientôt son néocortex et le structurera de manière à permettre la pensée cohérente.

## Les premiers mots significatifs

Dès les premiers mois après la naissance, un bébé exerce continuellement son appareil phonateur, et bientôt, se met à tenter d'imiter les sons entendus ([8], p. 101).

Sans nous arrêter sur le stade où il articulera par imitation des sons ou des mots sans les comprendre, nous arrivons au stade où il dira son premier mot significatif: "papa", "maman", "pomme", etc., en comprenant clairement ce que le mot signifie. À ce moment de son évolution, il vient de comprendre que certains sons, produits par l'adulte qui s'occupe de ses besoins, désignent toujours des objets spécifiques.

À partir de ce moment, les progrès seront rapides. Cependant, l'enfant a souvent besoin de reconfirmation. Le tourbillon des nouvelles impressions non-verbales qui affluent constamment et la vitesse avec laquelle les liens synaptiques se construisent entre l'ensemble de ces impressions non-verbales et son bagage sans cesse grandissant de mots ont tendance à le rendre incertain du sens déjà assigné aux mots qu'il connaît.

Il répétera souvent certains mots, un peu interrogativement, pour obtenir confirmation de ses parents. Tout nouvel objet qui ressemble à un objet déjà connu et nommé soulèvera des questions ou des attitudes interrogatives de sa part jusqu'à ce qu'il devienne certain qu'il peut le nommer avec le même mot.

Il cherchera bien sûr à savoir le nom de tout nouvel objet qui l'intéresse et qu'il n'avait jamais vu auparavant.

## **L'émergence de la capacité de généralisation**

Progressivement, l'ensemble de ses impressions non-verbales se structure sous l'impulsion des mots qu'il utilise pour en nommer les divers aspects, et petit à petit, il commence naturellement à regrouper ces objets par catégories. Cette "capacité de généralisation", qui est exhaustivement analysée dans les références [13, 23], et qui est le fondement de la pensée conceptuelle, entre progressivement en fonction et l'enfant devient capable de tirer ses premières conclusions indirectes, à la surprise amusée de ses parents. Souvent, ses premiers essais sont tout à fait farfelus, mais la mécanique fonctionne.

C'est cette capacité de généralisation qui permet à l'enfant de commencer à comprendre les choses de la même manière que l'adulte. Les conclusions qu'il est à même de tirer donc, quoique toujours logiques, le sont de toute évidence toujours à partir du bagage très restreint d'information dont il dispose.

Si certaines de ses conclusions nous semblent fausses ou déconnectées de la réalité, c'est simplement que son information est incomplète, ou même fausse. Il nous revient de l'informer correctement.

L'existence de cette capacité fraîchement éclosée de l'enfant de pouvoir généraliser, est due uniquement à la présence du réseau des liens synaptiques qui est en train de se construire dans son cerveau, qui associe les empreintes synaptiques non-verbales que sont les souvenirs d'objets et événements dont il se souvient, et les mots qu'il utilise maintenant pour y penser et en parler.

Cette capacité lui permettra éventuellement de comprendre par lui-même qu'un animal qu'il voit pour la première fois (une nouvelle sorte de chien, par exemple) est un chien, parce que par le passé, il aura fini par comprendre et identifier correctement un ensemble de caractéristiques que seulement les chiens possèdent. En cas d'incertitude, il posera la question.

Plus il progresse, plus son vocabulaire se développe et plus il devient facile pour lui de comprendre les nouvelles impressions qu'il accumule chaque jour en provenance du monde extérieur, parce que ces nouvelles impressions correspondent de plus en plus souvent aux choses qu'il a déjà nommées et auxquelles il a déjà réfléchi ou dont il a déjà discuté.

Petit à petit, il découvrira que les animaux familiers ou les personnes qu'il "aime" restent plus longtemps près de lui lorsqu'il est accueillant. Il inclura donc à l'occasion ces êtres "aimés" dans "son cercle", pour ainsi dire, c'est-à-dire qu'il expérimentera avec des situations ou ses conclusions et ses actions favorisent aussi d'autres êtres en plus de lui-même, ce qui constitue ses premiers pas vers les comportements altruistes.

Sa capacité à évaluer les situations en fonction d'un but précis à atteindre s'affine, et en fonction du cadre restreint dans lequel il l'utilise, c'est-à-dire en vue de se favoriser lui-même et quelques êtres qu'il aime avoir auprès de lui, cette capacité devient de plus en plus fiable, à force de répétition et de correction de la méthode lorsque de mauvais résultats sont obtenus.

Ce type "d'expériences" développe donc son habileté à obtenir un "bon résultat" dans des cadres de références qui incluent seulement lui-même, ou qui incluent lui-même et quelques êtres proches.

## Relation entre capacité de compréhension et zones verbales du néocortex

Un autre type d'activité, qui est naturel chez tous les enfants, est le jeu. Les jeux de toutes sortes jouent aussi un rôle capital dans le développement de la capacité de raisonnement logique du jeune enfant.

Tous ces jeux, dont le sujet et les circonstances peuvent varier à l'infini, lui permettent d'être en contact répété avec des problèmes à régler de toutes sortes, et en particulier avec des situations à régler dont il n'est pas lui-même un élément, par exemple les casse-tête, ce qui lui permet de commencer à s'attaquer à des problèmes abstraits.

Des situations imaginaires dont il devient ou non un des acteurs, incluant des personnages irréels qu'il ne voit jamais, mais dont il doit tenir compte, par exemple la fée des dents, etc., aident à entraîner l'enfant à résoudre de manière satisfaisante des situations de plus en plus complexes dans une variété toujours grandissante de cadres de références.

Pendant, si l'enfant qui grandit devient maître du processus de raisonnement logique comme tel, il n'apprendra pas de lui-même à vérifier si les éléments sur lesquels il fonde ses raisonnements sont valables. Il n'apprendra pas non plus à clairement identifier le cadre de référence dans lequel ce raisonnement doit se situer, ni à définir clairement le but à atteindre dans un tel cadre de référence, ce qui peut le conduire à faire des choix erronés même s'il est en possession d'une information correcte.

Ces autres parties de la démarche logique formelle, que nous examinerons plus loin, doivent lui être enseignées. C'est-à-dire qu'il faut directement lui enseigner à vérifier la validité des éléments sur lesquels il fonde un raisonnement logique, et à définir clairement le cadre de référence dans lequel il désire "analyser" une situation donnée avant d'arrêter son choix sur une solution possible.

Un aspects des plus importants de son apprentissage verbal concerne les frustrations que l'enfant peut ressentir, car le bagage d'expériences vécues à cet âge étant plutôt restreint, il est bien évident qu'il n'aura pas eu l'occasion par le passé, de réfléchir et d'avoir appris comment se comporter face à tous les types de situations désagréables qui pourront se présenter à lui en grandissant.

Il faut faire une nette distinction ici entre les vraies frustrations et les "pseudo frustrations", c'est-à-dire les manipulations subtiles qu'il pourra tenter dans le cadre de la vérification qu'il entreprend de temps à autre des limites qu'il ne peut pas dépasser avec l'un ou l'autre de ses parents.

Dans le cas d'une véritable frustration, il est tout à fait possible qu'aucun lien n'ait été fait entre cette expérience non-verbale désagréable particulière et l'ensemble des impressions qui ont déjà été associées dans son esprit au niveau verbal.

La seule manière véritablement efficace pour lui de faire ces liens est de réussir à expliquer son "problème". La chose lui est obligatoirement difficile, car aucun lien n'ayant déjà été fait avec son bagage de mots courants, il ne trouvera pas nécessairement si facilement les mots pour expliquer pourquoi il a de la peine ou pourquoi il est en colère, et il est évidemment difficile de lui expliquer comment analyser son émotion.

Il est par conséquent nécessaire de le questionner, de discuter de son émotion avec lui, de lui expliquer les éléments du problème en fonction de ses réponses. Il faut raisonner avec lui (et non pas "le raisonner"), et échanger avec lui des idées jusqu'à ce qu'il finisse par faire les liens nécessaires au niveau verbal. Si son émotion est justifiée, il faut le lui dire et en régler pour lui les causes qui sont hors de son contrôle si la chose est possible.

## Relation entre capacité de compréhension et zones verbales du néocortex

L'enrichissement du réseau d'interconnexions synaptiques structurées de manière cohérente de son cerveau sera d'autant plus considérable que ces expériences seront explorées plus en profondeur verbalement, et l'enfant deviendra d'autant plus habile à environner lui-même les nouveaux cas qui ressembleront à des cas déjà vécus et explorés.

Paradoxalement, malgré la nature désagréable des situations de frustration, celles-ci constituent probablement l'outil le plus puissant dont disposent les parents et éducateurs, car leur exploration permet d'apprendre à l'enfant à devenir habile à régler de vrais problèmes d'interaction sociale.

## La structure interne du néocortex humain

Maintenant que nous avons vu comment l'enfant fait ses premiers pas dans la compréhension du monde dans lequel il évolue, et avant de nous pencher sur la manière dont il faut le guider pour qu'il acquière une perception aussi juste que possible du monde et apprenne à clairement distinguer entre l'illusion et la réalité, nous allons examiner de plus près le support physique du modèle subjectif personnel de la réalité qui est en processus de construction dans les zones verbales de son néocortex.

Il ne sera pas question ici de ce qu'on appelle la "conscience", la "conscience d'être", ou "l'âme", ou quel que ce soit le nom qu'on puisse donner à ce qui fait que nous avons conscience d'exister. À ce sujet, l'excellent ouvrage du docteur Paul Chauchard "*Physiologie de la conscience*" [12] est une excellente référence.

Ce modèle interne de la réalité que chaque individu construit en grandissant ne peut pas possiblement être autrement que subjectif, car il se construit uniquement à partir des perceptions personnelles de chaque individu, ce qui ne nous empêche nullement de souvent le confondre illusoirement avec la réalité objective proprement dite. La claire distinction qui doit être faite entre nos opinions personnelles et ce qui constitue la réalité objective est analysée extensivement à la référence ([7], Section II).

Tel que mentionné auparavant, le néocortex est une structure extrême complexe qui n'a pas encore été complètement explorée et comprise. Nous demeurerons donc confortablement au niveau fonctionnel général de la description. Le néocortex humain comporte environ 14 milliards de neurones répartis en 6 couches très régulières de la manière suivante:

1. *Une couche d'entrée*, composée de neurones récepteurs. Elle est faite des groupes localisés de neurones par lesquels les impressions des sens sont reçues par le néocortex ainsi que des groupes par lesquels les émotions viennent à notre attention en provenance de l'hypothalamus. Le reste de cette couche reçoit des signaux en provenance du néocortex lui-même, qui comporte d'innombrables branchements à rebours en provenance des couches intercalaires et de la couche de sortie, ce qui permet leur réintroduction en entrée ([4], p. 88).
2. *Quatre couches intercalaires*, dans lesquelles on peut présumer que s'emmagasine l'ensemble des souvenirs et dans lesquelles le processus automatique de corrélation s'exécute.
3. *Une couche de sortie*, qui comporte des groupes de neurones psychomoteurs, par lesquels les "ordres" du néocortex sont transmis à d'autres parties du cerveau, et aux membres du corps, et où les cohérences résolues des perceptions de nos sens, et les conclusions de nos "raisonnements" sont rendus disponibles pour que notre "conscience d'être" en prenne conscience.

## Relation entre capacité de compréhension et zones verbales du néocortex

Ce réseau multicouche est le siège de la pensée conceptuelle humaine. Tel que déjà mentionné et clairement mis en évidence par Chauchard, la puissance d'un réseau multicouches ne dépend pas du nombre de neurones qu'il contient, mais du nombre de liens synaptiques qui existent entre ces neurones [4, 9].

Considérant qu'il est estimé que notre galaxie contiendrait environ 40 milliards d'étoiles actives, il faudrait compter 2,500 galaxies comme la nôtre pour obtenir un nombre d'étoiles qui équivaldrait au nombre approximatif de liens synaptiques contenus dans l'écorce extérieure d'un cerveau humain.

Ou, si l'on estime qu'il faut aligner 100 millions d'atomes pour obtenir une longueur de un centimètre, il faudrait en faire une rangée de 10 kilomètres pour donner un nombre d'atomes équivalent. Par comparaison, mentionnons que le plus complexe réseau de neurones artificiel jamais construit contenait en 1998 environ 1 million de neurones et à peines quelques millions de liens.

## Perception initiale automatique de cohérence et resoumission

Au niveau fonctionnel, et de manière simplifiée, il peut être considéré que chaque fois qu'un ensemble de données est fourni en entrée à autant de neurones de la couche d'entrée du néocortex, les couches intercalaires se comportent comme si elles répondaient à la question suivante: "Y a-t-il des similarités entre les éléments de cet ensemble de signaux?"

Dans les zones visuelles par exemple, des signaux voisins d'intensité similaire selon un éventail de critères permettent évidemment l'identification de cohérences dans l'ensemble d'entrée, permettant que les motifs cohérents soient sélectionnés et fournis à la couche de sortie.

De telles cohérences semblent être automatiquement réalimentées vers la couche d'entrée ailleurs dans les zones non-verbales du néocortex, en permettant la comparaison avec des cohérences déjà emmagasinées, conduisant à une éventuelle "reconnaissance" de similarité avec ces cohérences, et association de ces nouvelles cohérences aux "réaction" qui avaient été préalablement associées avec ces cohérences emmagasinées.

En ce qui concerne l'identification verbale de telles cohérences ou événements, étant donné que des séquences descriptives spécifiques de mots, ou des mots isolés, peuvent être associés à un large éventail d'intensités de cohérences ou d'événements dépendant du contexte, plusieurs descriptions cohérentes "de prime abord" peuvent automatiquement venir à l'esprit pour décrire toute cohérence ou événement non-verbal nouveau ou reconsidéré.

Étant donné que par structure, une seule "description verbale" à la fois peut parvenir à la couche de sortie lorsqu'on cherche à penser à cette nouvelle cohérence ou événement, plusieurs "passes", pour ainsi dire, doivent généralement volontairement être faites, si l'individu souhaite identifier correctement la "description" optimale pour cette cohérence ou événement non-verbal particulier.

Les recherches de Chauchard révèlent que dans les réseaux de neurones simples, comme les réseaux réflexes des animaux inférieurs, l'arrivée de messages sensoriels à la couche d'entrée a pour résultat l'activation directe de neurones moteurs spécifiques de la couche de sortie. Mais dans le cas du néocortex, la multitude de récepteurs de la couche d'entrée qui reçoivent sans arrêt les multiples messages des sens et de l'hypothalamus, ne sont pas directement connectés aux les neurones moteurs de la couche de sortie, mais vont plutôt

## Relation entre capacité de compréhension et zones verbales du néocortex

activer dans son ensemble et de façon permanente le complexe réseau intercalaire ([4], p. 84-91).

Les messages vont pouvoir circuler librement à l'intérieur même du néocortex dans d'innombrables circuits synaptiques, sans obligatoirement s'aiguiller sur les neurones moteurs. Un tel aiguillage aura lieu seulement dans certains cas "d'urgence" comme dans le cas d'une brûlure ou d'une piqûre, et ceci seulement à partir du moment où la réaction appropriée aura été apprise. Autrement, les neurones psychomoteurs seront activés seulement si on le veut.

Chauchard conclut qu'une fois activé, le néocortex n'a plus besoin d'un apport constant de messages sensoriels pour fonctionner. Il continue à fonctionner de manière autonome parce qu'il peut s'autoalimenter en stimulations résultant du processus de la pensée cohérente, en conséquence de sa structure interne comportant des branchements à rebours. Chaque conclusion que nous tirons de nos raisonnements est réalimentée automatiquement en entrée de cette manière, s'intègre de manière cohérente dans la structure neurolinguistique en place, et demeure ainsi à notre disposition comme toute autre information que nous avons intégrée à partir de nos perceptions sensorielles et de nos émotions.

Une diminution du nombre de messages venant des sens, qui conduit au sommeil les animaux, permet à l'être humain, s'il le désire, de demeurer captivé par ses propres pensées au lieu de se laisser glisser dans le sommeil.

Nous pouvons aussi, à volonté, et sans qu'un déclenchement soit provoqué par un message sensoriel en entrée, activer nos neurones moteurs et exécuter des actions qui ne sont pas réflexes. La complexité même du réseau intercalaire, associée à la présence de branchements à rebours, lui permet donc de ne pas être l'esclave de comportements réflexes, ni de l'arrivée de messages sensoriels constants.

Il existe plusieurs types de neurones, mais de manière générale, on peut considérer que les neurones récepteurs sont de type dit "granulaire" alors que les neurones moteurs, ou émetteurs, sont de type "pyramidal". On peut aussi considérer que dans le néocortex, une couche granulaire alterne avec une couche pyramidale.

Les neurones moteurs d'une couche donnée du néocortex peuvent donc se brancher par certains de leurs liens synaptiques de sortie aux entrées de l'une des couches granulaires qui précède sa propre couche, et ne branchent pas obligatoirement toutes leurs synapses en entrée sur les neurones de la couche suivante. C'est ce qui explique pourquoi les impressions sensorielles perçues à la couche d'entrée n'ont pas pour conséquence automatique l'activation réflexe des neurones moteurs de la couche de sortie.

C'est ce qui explique aussi pourquoi un bébé naissant est aussi impuissant face à son environnement. Pratiquement aucun comportement n'est inné en ce qui concerne les réactions qu'il doit avoir en fonction des impressions de ses sens, sauf quelques réflexes de base génétiquement programmés comme le "réflexe de clignement de l'oeil à la menace". Il doit apprendre comment réagir à absolument tout.

## La remise en question

Tel que mentionné précédemment, le problème posé par le fait que plusieurs "descriptions verbales" pourraient être des candidats "de prime abord" pour décrire tout événement non-verbal ou cohérence, est facilement contourné en resoumettant en entrée la cohérence à décrire. Ce processus de resoumission a tendance à devenir automatique à partir du moment

## Relation entre capacité de compréhension et zones verbales du néocortex

où l'habitude de resoumission volontaire a été établi, étant donné la présence physique alors renforcée des chemins synaptiques de resoumission.

Mais étant donné que nous pensons consciemment, chaque fois que l'une de nos conclusions semble avoir du sens par rapport aux autres conclusions associées que nous avons déjà tirées et intégrées à notre modèle personnel de la réalité, nous avons tendance à devenir certains que ladite conclusion est la meilleure, ce qui tend à irrémédiablement bloquer le mécanisme de remise en question de cette conclusion.

Par conséquent, au lieu d'être naturellement remise en question lorsque de nouvelles informations pourraient possiblement le justifier, ladite conclusion tendra à s'intégrer telle qu'elle dans le modèle neurolinguistique de la réalité de l'individu, peu importe son degré de proximité par rapport à la réalité objective. En pratique, de larges segments de nos modèles personnels peuvent ainsi évoluer petit à petit jusqu'à nous procurer une vision plutôt faussée de certains aspects de la réalité.

Pour que le mécanisme de "resoumission" fonctionne, il est donc indispensable de prendre conscience de cette tendance inhibitrice qui nous est naturelle et qui menace constamment. C'est à dire, que si nous voulons vraiment atteindre éventuellement les conclusions véritablement justes qu'il faudrait tirer pour qu'elles reflètent complètement la réalité, il est important de systématiquement requestionner nos conclusions, peu importe le degré de certitude que nous pouvons momentanément acquis de leur exactitude. C'est le prix à payer pour nous assurer que la conclusion finale que nous retiendrons éventuellement dans chaque cas correspond le plus possible à la réalité.

C'est pourquoi les méthodes de réflexion qui impliquent le doute et la remise en question ont été tellement profitables à l'humanité par le passé. Pensons seulement aux résultats extraordinaires obtenus par les grands sceptiques du passé, comme Socrate, Platon, Descartes, Newton, Einstein, etc. [1]. Comme nous venons de le voir, notre cerveau est biologiquement et fonctionnellement structuré pour fonctionner de manière optimale seulement lorsque nous pensons de cette manière.

Mais chacun est évidemment libre de le faire, ou non, car nous avons le plein contrôle du processus. Nous demeurons toujours libres de revisualiser nos activités passées grâce aux souvenirs et à l'imagination, pour éventuellement réviser et corriger, ou non, les mauvaises perceptions que nous avons pu accepter comme valides par le passé.

Nous pouvons aussi élaborer de nouveaux concepts en tirant des conclusions sur les cohérences que nous avons perçues, et considérer l'effet de ces nouvelles conclusions sur l'ensemble des conclusions déjà tirées en réalimentant consciemment en entrée cette nouvelle conclusion, pour pouvoir réexaminer l'ensemble. Ce processus, que nous pouvons répéter sans fin, est entièrement sous notre contrôle. Il ne tient qu'à nous de l'utiliser à notre avantage.

Mais il est plutôt difficile de parler de concepts aussi abstraits que l'identification verbale d'événements ou concepts non-verbaux sans utiliser la visualisation. Par conséquent, pour plus facilement conceptualiser ce sujet si abstrait, nous allons associer quelques images symboliques à ces concepts de manière à les rendre un peu plus concrets.

## Relation entre capacité de compréhension et zones verbales du néocortex

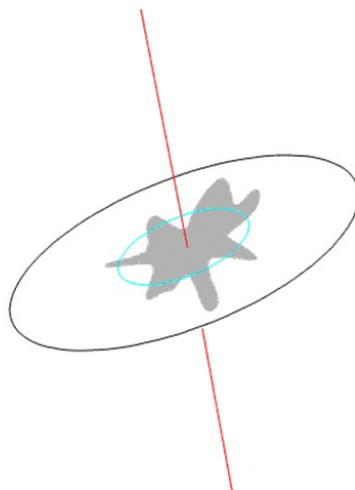


Figure 2: Représentation symbolique de l'identification verbale d'événements ou concepts abstraits non-verbaux.

Représentons tous les éléments de données (connus et inconnus) se rapportant à un événement non-verbal par une feuille de papier blanc, chaque atome de la feuille symbolisant une caractéristique spécifique. Si nous imaginons que cette feuille s'étend à l'infini dans toutes les directions et qu'elle a seulement un atome d'épaisseur, nous pouvons visualiser un nombre infini d'atomes correspondant au nombre potentiellement infini de caractéristiques qu'un événement se produisant réellement pourrait avoir. Cette feuille à l'étendue infinie est représentée par le grand cercle de la Figure 2.

Étant donné qu'il n'est jamais nécessaire d'avoir perçu la totalité de ce nombre infini de caractéristiques qu'un objet, événement, concept ou émotion pourrait avoir avant de pouvoir comprendre objectivement sa nature, nous savons que pour tout objet, événement, concept ou émotion auquel nous pourrions penser, il existe un ensemble restreint de caractéristiques qui permet de comprendre objectivement sa nature [3] [23]. Le cercle intérieur de la Figure 2 représente cet ensemble restreint de caractéristiques qui permet une description et compréhension objective de l'objet, événement, concept ou émotion considéré.

Ce cercle intérieur parfait représente donc l'ensemble des éléments d'information qui sont valides de manière vérifiable, à l'exclusion de tous les autres, et qui auraient dû être considérés au départ pour que la conclusion que nous cherchions colle vraiment à la réalité.

Il faut être conscient aussi, qu'avant d'avoir pu établir qu'une conclusion quelconque colle parfaitement à la réalité, suite à une analyse rétrospective permettant d'en identifier clairement et d'en confirmer définitivement les fondements comme valables, il nous était impossible de savoir d'avance quelles données, parmi toutes celles que nous considérions, étaient vraiment nécessaires pour l'obtenir. Similairement, certains éléments importants qui auraient dû être considérés pourraient ne l'avoir pas été, pour de nombreuses raisons, incluant n'avoir jamais été informé de ces éléments.

Ainsi donc, en cours de réflexion sur tout sujet donné donc, il est pratiquement impossible qu'en suivant divers fils de réflexion, à la recherche d'une conclusion valable à partir de l'ensemble des informations dissociées qui peuvent sembler pertinentes de prime abord, nous ne creusions pas un peu trop loin dans certaines directions et pas assez dans d'autres, incorporant ainsi dans l'ensemble finalement retenu, des éléments qui en réalité devraient demeurer hors du cercle, et n'en retenant pas d'autres, qui devraient en faire partie.



## Relation entre capacité de compréhension et zones verbales du néocortex

Par conséquent, l'ensemble des éléments initialement retenus avant analyse rétrospective, et qui conduit à la première conclusion tirée dans toute direction donnée, ne peut pas être circonscrit avec certitude dans un tel cercle idéal parfait. Par rapport à ce cercle intérieur parfait, cet ensemble d'éléments "présumés" valides doit donc être symbolisé comme étant circonscrit dans la forme grise irrégulière de la Figure 2.

Cette forme symbolise que pendant que nous sommes en train d'examiner quelque concept que ce soit pour la première fois: objet, idée, souvenir, impression, circonstance complexe, etc., nous avançons toujours figurativement à l'aveuglette, fouillant un peu trop loin par-ci, pas assez loin par-là, dans l'incertitude, jusqu'à ce que suffisamment d'information ait été assemblée pour qu'une cohérence d'ensemble vraisemblable nous apparaisse, mais dont la validité ne peut pas, et ne doit pas, être présumée avant validation rétrospective.

Le fait est que c'est souvent une telle conclusion présumément imparfaite que nous retenons à notre insu et intégrons sans plus de questionnement à notre modèle personnel de la réalité, car nous aimons la cohérence par-dessus tout, et même une "apparence" de cohérence tend à nous satisfaire.

La ligne infinie qui perce perpendiculairement le centre des deux cercles représente la capacité de corrélation du cerveau. Elle est représentée comme étant perpendiculaire à la feuille blanche pour symboliser que même les atomes les plus lointains de la feuille infinie demeurent dans son "champ de vision" direct, et pourraient potentiellement être considérés comme appartenant possiblement au cercle interne, symbolisant aussi que rien n'est hors de porté de notre capacité de compréhension.

La Figure 3 représente symboliquement un ensemble arbitrairement grand des conclusions verbales initiales que nos analyses nous ont conduit à tirer et que nous avons pu accepter comme valides sur une foule de sujets, avant validation rétrospective.

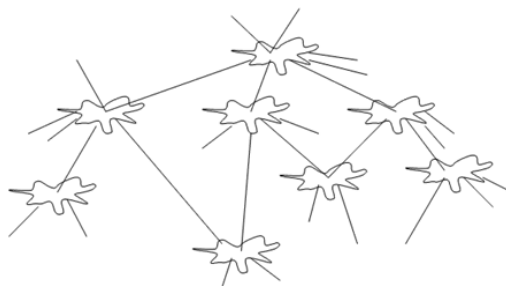


Figure 3: Représentation de nos conclusions verbales initiales à propos d'une foule de sujets.

Pour représenter visuellement l'état de ces conclusions par rapport à ce qu'elles devraient idéalement être après que le cycle de validations-reconsidérations ait été exécuté un nombre suffisant de fois pour assurer une compréhension objective [3], associons les maintenant aux cercles parfaits qui symbolisent l'ensemble restreint optimal qui aurait dû être considéré (Figure 4).

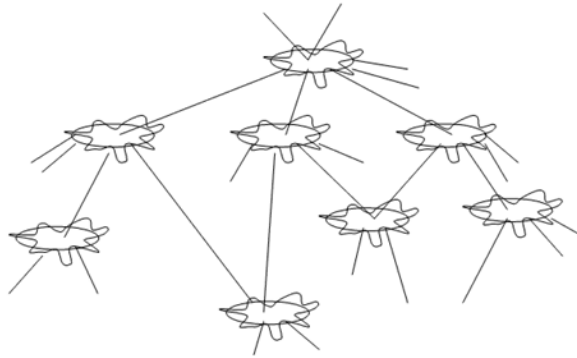


Figure 4: Représentation des nos conclusions verbales initiales, versus les conclusions verbales finales objectives.

Il apparaît maintenant clairement que certains éléments de l'ensemble que nous aurons initialement retenu pourraient bien se situer hors du cercle représentant l'ensemble objectif idéal, état qui ne deviendra évident qu'après une vérification subséquente de la validité de chacun des éléments retenus avant reconsidération de l'ensemble; et que certains éléments potentiellement importants auraient pu ne pas être considérés du tout.

Pour parvenir à rajuster l'ensemble de nos conclusions, et les rapprocher ainsi de la réalité objective, il nous suffit simplement de surmonter toute impression de certitude que nous pourrions entretenir, peut-être pas tout à fait rationnellement, à leur sujet.

Le processus de requestionnement qui nous est entièrement naturel et que nous aurons inconsciemment enrayé en devenant certains de certaines conclusions tirées de premières impressions, ou considération insuffisante, et plus important encore, en ne confirmant pas la validité des éléments considérés, se remettra alors automatiquement en marche, et progressivement, l'ensemble de notre modèle de la réalité évoluera vers un état se rapprochant de plus en plus de la représentation symbolisée par la Figure 5.

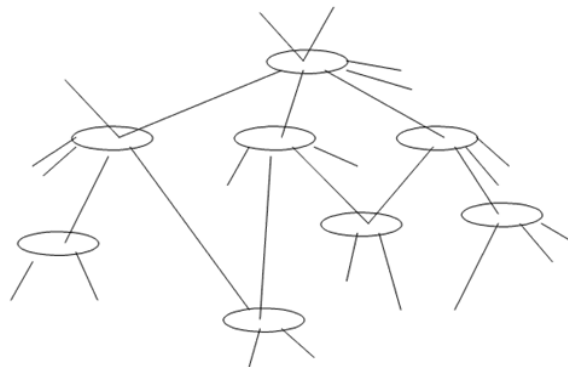


Figure 5: Représentation de nos conclusions verbales objectives finales.

## Prendre le contrôle du processus de resoumission

Tel que mentionné précédemment, les cohérences et conclusions sont automatiquement fournies à la couche de sortie du néocortex suite au traitement de tout ensemble de données fournies en entrée. Ces ensembles de signaux d'entrée pourraient être constitués entièrement de signaux électrochimiques de niveau élémentaire comme dans les zones visuelles, jusqu'à des ensembles mixtes de concepts hautement abstraits mis en comparaison dans les zones verbales.

## Relation entre capacité de compréhension et zones verbales du néocortex

Le processus de resoumission des cohérences perçues semble totalement automatique et hors de notre contrôle dans les centres de traitement par images non-verbales, impliquant apparemment seulement la séquence de resoumission automatique requise pour que les "empreintes d'image" utilisables soient emmagasinées dans le réseau, où elles deviennent disponible pour utilisation par notre "esprit conscient".

Ce processus semble aussi totalement automatique jusqu'à un certain point dans les zones verbales, mais comme nous l'avons vu, le processus peut être forcé à l'arrêt lorsque la personne devient certaine de toute conclusion donnée. Il est cependant possible et relativement facile de prendre le contrôle du processus de resoumission verbale, tel que discuté précédemment.

Le mode de raisonnement logique linéaire traditionnel, dont la maîtrise par apprentissage nous donne accès à la rigueur intellectuelle essentielle à tout progrès ([23], Chapitre "*La salle de jeu d'Einstein*"), demande seulement que toutes les prémisses sur lesquelles tout raisonnement logique doit être fondé, soit préalablement vérifiées comme étant vraie, ce qui garantit que la conclusion qui s'ensuit soit aussi considérée comme vraie.

Cependant, la logique qui doit être utilisée pour corrélérer correctement tous les éléments d'un ensemble fourni à l'entrée des zones verbales ([23], Chapitre "*Définition du processus de compréhension*"), demande en plus, que le cadre de référence à l'intérieur duquel l'ensemble sera considéré soit clairement défini en vue du but à atteindre, et soit réexaminé et redéfini si besoin est, à chaque étape des processus de corrélation qui conduiront de plus en plus étroitement vers la conclusion finale.

En réalité, l'ensemble des liens qui interconnectent les divers aspects de nos souvenirs dans le néocortex, sous la pression de l'usage des mots qui nous permettent d'y penser, et qui peut être considérée comme une structure d'indexation associative par inclusion ([13], Chapitre "*Infrastructure d'indexation associative par inclusion*"), nous donne accès à tous les éléments du modèle subjectif de la réalité ([7], Section II) que chacun de nous construit depuis l'enfance. Dans cette structure de liens, chaque aspect des idées qui ont été comprises activent une sous-structure de liens synaptiques qui peuvent amener à l'avant-plan de notre attention l'ensemble des éléments des souvenirs que nous avons associé à cet aspect de l'idée.

Chacune des ces sous-structures est elle-même une structure de liens qui associe par inclusion tous les éléments auxquels ces liens sont connectés. Cet arrangement semble être la seule manière dont des données peuvent être indexées dans un réseau de neurone multicouche. Le nombre de niveaux permis par une telle structure d'indexation est illimité du fait que la couche de sortie possède des liens à rebours vers les couches précédentes.

Lorsque notre attention est attirée par une idée, si un aspect non résolu (Figure 3) de cette idée attire suffisamment notre attention pour que nous nous interroguions à son sujet, nous nous poserons alors des questions qui déclencheront des processus de corrélation ([23], Chapitre "*Le processus de corrélation*"). L'aboutissement du déclenchement de tels processus est toujours la prise de conscience éventuelle de nouvelles cohérences, ou "réponses", qui nous procureront idéalement une meilleure compréhension de l'aspect vague qui avait attiré notre attention (Figures 4 et 5).

Un processus de corrélation consiste en une cascade d'associations successives qui "amèneront" progressivement à l'avant-plan de notre attention, l'ensemble des éléments pertinents (bien sûr, seulement ceux qui sont venus à la connaissance de la personne), et lorsqu'une cohérence qui satisfait la personne aura été perçue, l'ensemble des interconnexions synaptiques qui permettent d'associer ces éléments, deviendra naturellement

## Relation entre capacité de compréhension et zones verbales du néocortex

une nouvelle sous-structure hiérarchique dans laquelle chacun des liens nouvellement renforcés conduisant à un des éléments appartenant à cet ensemble seront inclus.

Par la suite, l'aspect précédemment non résolu de l'idée qui avait provoqué un questionnement, au lieu d'activer ces questions, activera plutôt directement l'ensemble des liens synaptiques renforcés qui "mènent" aux éléments de la cohérence qui constitue maintenant la réponse à ces questions.

Une conséquence intéressante de l'auto-questionnement à propos de quelque sujet que ce soit est qu'à partir du moment où une question a mentalement été formulée, un processus de corrélation est initié. Une fois initié, le processus demeurera actif dans le néocortex même si nous cessons d'y prêter attention, demeurant discrètement en attente en arrière plan, pour ainsi dire, pour des éléments à corréler qui pourraient contribuer à répondre à la question ([23], Chapitre "*Initialisation d'un processus de corrélation*").

Il semble aussi qu'un nombre arbitrairement grand de tels processus de corrélation automatiques peuvent être déclenchés par autant de questions clairement formulées, et qu'elles demeureront actives au niveau subconscient en attente d'éléments à corréler. Ils peuvent demeurer dormant pour de longues périodes en attente d'éléments manquants, dont la perception peut dépendre de conclusions d'autres processus de corrélations non résolus ou de l'acquisition de connaissance qui n'aurait pas encore été acquise par la personne, ou à défaut de telles perceptions ou acquisitions, ils peuvent ne jamais être résolus.

Ce mécanisme automatique est à l'origine de nos intuitions, que nous percevons comme des éclairs soudains de compréhension à propos de sujets qui nous avaient fait nous interroger dans le passé. La question qui avait déclenché le processus peut avoir été posée longtemps avant que la corrélation résultante ait été fournie au niveau conscient, et que ne peut survenir que si l'ensemble des éléments pertinents devient suffisant pour que la corrélation associée soit automatiquement perçue par le réseau de neurone, ce qui se manifeste sous la forme d'un "éclair soudain de compréhension".

En réalité, la seule différence entre une intuition et un raisonnement est qu'une conclusion obtenue par intuition est le résultat d'un processus de corrélation automatique subconscient alors qu'une conclusion obtenue suite à un raisonnement est le résultat d'une séquence de corrélations guidée volontairement. Dans les deux cas cependant, la confirmation et validation subséquente des éléments mis en corrélation est requise pour assurer la valeur de la conclusion.

Il peut être présumé que les empreintes synaptiques correspondant aux éléments sous considération ne sont pas physiquement déplacées dans le néocortex, mais que des liens temporaires sont établis jusqu'aux endroits où elles sont physiquement emmagasinées. Ces liens temporaires semblent se renforcer et devenir plus durables seulement pour les éléments appartenant à la cohérence qui constitue la réponse à la question qui a déclenché le processus.

Nous allons maintenant examiner une méthode de réflexion naturelle à chacun, car elle prend en compte une caractéristique fondamentale des réseaux de neurones multicouches, soit la perception automatique de cohérences, quelles qu'elles soient, dans tout ensemble d'éléments, si de telles cohérences existent.

## Raisonnement par perception de cohérences

Le raisonnement logique implique un processus par lequel une pensée concernant les éléments d'un ensemble conduit à une pensée généralisatrice applicable à tous les cas ayant

## Relation entre capacité de compréhension et zones verbales du néocortex

les mêmes propriétés que les éléments de l'ensemble initial ou d'un sous-ensemble de cet ensemble.

Le point de départ de tout raisonnement logique est toujours une cohérence perçue dans un ensemble d'éléments considéré. La méthode de raisonnement par perception de cohérences permet qu'un nombre indéterminé d'éléments, ou prémisses, soit inclus lors de la sélection d'un ensemble à analyser.

Cette approche fut extrapolée des méthodes d'analyses structurées développées par Jean-Dominique Warnier [24, 25, 26] et Edsger W. Dijkstra [27], car leurs approches s'harmonisent parfaitement avec les découvertes de Hebb concernant le fonctionnement des réseaux de neurones multicouches [10].

Le développement de chaque séquence logique demande de suivre rigoureusement les critères de la logique formelle ([23], Chapter "*La salle de jeu d'Einstein*"), car le succès de son déroulement demande de manière obligatoire une référence à des images mentales et à leurs descriptions verbales à chaque étape de leur développement, ce qui fait en sorte que le réseau de neurone fonctionne à son maximum d'efficacité dans les deux hémisphères du cerveau, une technique qui peut être maîtrisée en apprenant les théorèmes géométriques d'Euclide, par exemple.

Définition d'une cohérence perçue par corrélation:

*Critère de corrélation:* Critère qui semble commun à certains éléments d'un ensemble et qui permet d'extraire ces éléments pour former un sous-ensemble dont seront exclus, par définition, de toute exception à ce critère.

Les cohérences sont pratiquement toujours perçues suite à la formulation claire d'une question. Pour obtenir un résultat satisfaisant cependant, cette question doit être formulée seulement après qu'une prise de conscience claire du cadre de référence à l'intérieur duquel elle est sensée s'appliquer a été obtenue.

L'établissement volontaire de tels cadres de référence coïncide avec, et renforce, la recherche de similarité entre les éléments fournis à la couche d'entrée conduisant à la détermination automatique de cohérences par le réseau de neurone

Définition du cadre de référence d'un ensemble à être considéré:

*Cadre de référence:* Ensemble de toutes les caractéristiques communes à tous les éléments d'un ensemble considéré.

En contexte, le cadre de référence qui détermine quels éléments appartiendront à l'ensemble peut être établi de deux manières différentes:

- 1- Sélection d'un nombre arbitraire de critères et recherche subséquente des éléments qui correspondent à tous ces critères.
- 2- Considération d'un ensemble d'éléments et identification de tous les critères qui sont commun à tout sous-ensemble donné de ces éléments.

L'ensemble initial choisi dans la recherche de toute conclusion, correspondant à la Figure 3, peut toujours être conduit à évoluer vers l'ensemble restreint ultime des éléments objectifs correspondant à la Figure 5, qui permet une compréhension objective du concept en cours d'exploration. Ceci est accompli par le biais de resoumission de l'ensemble initial et des sous-ensembles subséquents autant de fois qu'il sera nécessaire pour finalement identifier le sous-

## Relation entre capacité de compréhension et zones verbales du néocortex

ensemble objectif le plus restreint à partir duquel des conclusions objectives peuvent être tirées.

Un exemple détaillé d'une telle séquence de raisonnement est décrite à la référence [28]. En fait, cet exemple particulier a conduit à la définition d'une nouvelle géométrie de l'espace [29, 30], qui, si confirmée comme étant appropriée, confirmera aussi la validité de cette méthode de raisonnement.

## Conclusion

La réalité objective est ce qui se passe réellement et dont les signaux innombrables sont détectés et envoyés à la couche d'entrée de notre néocortex, et dont les interprétations cohérentes sont procurées à sa couche de sortie, où elles peuvent être perçues par notre "conscience d'être".

Ce que chaque personne observe, est plutôt une sorte de "modèle subjectif de la réalité", qui est un assemblage de toutes les cohérences qu'elle a perçues, et continue de percevoir, dans l'ensemble des souvenirs accumulés depuis sa naissance.

En fait, absolument tout ce que nous pensons savoir, tout ce que nous croyons avoir correctement compris, tout ce que d'autres êtres humains nous ont communiqué, tout ce que nous avons lu, et tout ce que nous ressentons, constitue l'information brute que nous n'avons d'autre choix que d'utiliser. Nous ne disposons d'absolument rien d'autre pour comprendre la réalité.

Nous nommons systématiquement tous les aspects de cette information brute, et circulons verbalement sans fin dans cet amoncellement de pièces d'information de prime abord sans rapport les unes avec les autres, cherchant à joindre les morceaux du Grand Casse-tête. Chaque fois que nous pensons avoir trouvé des pièces qui semblent pouvoir s'assembler, nous les assemblons. Petit à petit, une image de plus en plus cohérente de ce qui se passe dans le monde extérieur prend forme, qui constitue notre modèle personnel de la réalité. La cohérence est en fait notre seul point de repère, ou devrions-nous plutôt dire, le seul guide de notre néocortex.

La réalité objective est l'ensemble des événements de toutes natures qui se produisent réellement, l'espace, le "moment présent", les états stables des particules constituant la matière, l'énergie, et tout ce qui peut être construit avec ces éléments, du simple atome d'hydrogène jusqu'à la plus extraordinaire et complexe structure qui peut être identifiée dans l'univers, c'est-à-dire notre néocortex, qui nous permet de penser et nous permettra éventuellement de possiblement tout comprendre, si nous procédons de la bonne manière.

## Bibliographie

- [1] Michaud A (2016) *Intelligence and Early Mastery of the Reading Skill*. J Biom Biostat 7: 327. doi: 10.4172/2155-6180.1000327.
- [2] Pickenhein Lothar. (1998). *I. P. Pawlow - Gesammelte Werke - Über die Physiologie und Pathologie der höhere Nerventätigkeit*, Ergon Verlag, Germany.
- [3] Michaud A. (2016). *Comprehension Process Overview*. J Biom Biostat 7: 317. doi:10.4172/2155-6180.1000317

Relation entre capacité de compréhension et zones verbales du néocortex

- [4] Chauchard Paul. (1960). *Le cerveau et la conscience*, Les éditions du Seuil, France, 1960
- [5] Chauchard Paul (1956). *Le langage et la pensée*, Que sais-je #698, Presses Universitaires de France.
- [6] Shepherd Gordon M. (1994). *Neurobiology*. Third Edition. Oxford University Press. ISBN 0-19-508843-3.
- [7] [Michaud A. \(1999\) \*Un avenir en héritage\*, Les Éditions SRP. Smashwords, ISBN 978-2-924-17500-2.](#)
- [8] Eccles John C. (1994). *Évolution du cerveau et création de la conscience*, Flammarion, France.
- [9] Anderson James A. (1995). *An Introduction to Neural Networks*. The MIT Press. ISBN 0-262-01144-1.
- [10] Hebb Donald O. (1949). *The Organization of Behavior*, Wiley, New York.
- [11] Lawrence Jeannette. (1990). *Untangling Neural Nets*, Dr. Dobb's Journal, April 1990.
- [12] Chauchard Paul. (1963) *Physiologie de la conscience*, Que sais-je #333, Presses Universitaires de France.
- [13] [Michaud A \(2003\). \*Les fondements neurolinguistiques de l'intelligence\*, Les Éditions SRP. Smashwords, ISBN 978-2-980-53898-8.](#)
- [14] Hamilton C.R. (1977). *Investigations of perceptual and mnemonic lateralization in monkeys*, in S. Harnad, R. W. Doty, L. Goldstein, J. Jaynes and G. Krauthamer's *Lateralization in the Nervous System*, New York, Academic Press, pp. 45-62.
- [15] Hamilton C.R. (1977). *An Assessment of Hemispheric Specialization in monkeys*, Ann. NY Acad. Sci. 299:222-32.
- [16] Goldman P.S. and Nauta W.J.H. (1977). *Columnar distribution of cortico-cortical fibres in the frontal association, limbic and motor cortex of the developing rhesus monkey*, Brain Res 122:393-413.
- [17] Levy Jerre. (1974). *Psychological Implications of Bilateral Asymmetry*, in S. J. Dimond and J. G. Beaumont. *Hemisphere Function in the Human Brain*, New York, Wiley.
- [18] Basser L. S. (1962). *Hemiplegia of Early Onset and the Faculty of Speech with Special Reference to the Effects of Hemispherectomy*, Brain, 85:427-60.
- [19] Kimura D. (1962) *Functional Asymmetry of the Brain in Dichotic Listening*, Cortex, 3:167-78.
- [20] Chauchard Paul. (1958). *Le cerveau humain*, Que sais-je #768, Presses Universitaires de France.
- [21] Lenneberg E. H. (1967). *Biological Foundations of Language*, New York, Wiley.
- [22] Flechsig P. (1920). *Anatomie des Menschlichen Gehirns und Rückenmarks auf Myelogenetischen Grundlage*, Leipzig, Thienne.
- [23] [Michaud A \(1997\). \*Le système d'opération d'Einstein\*, Les Éditions SRP, Smashwords, ISBN 978-2-980-53899-5.](#)

Relation entre capacité de compréhension et zones verbales du néocortex

- [24] Warnier Jean-Dominique. (1981). *Logical Construction of Systems*,
- [25] Warnier Jean-Dominique. (1971). *Les procédures de traitement et leurs données*. Éditions d'Organisation.
- [26] Warnier Jean-Dominique. (1971). *Pratique de l'organisation des données d'un système*. Éditions d'Organisation.
- [27] Dijkstra, Edsger W. (1972). *Structured Programming*. Academic Press. ISBN 0-12-200550-3.
- [28] Michaud A. (1999). *Théorie des attracteurs discrets*, Les Éditions SRP, Smashwords. ISBN 978-2-924-17501-9.
- [29] Michaud A (2004). *Géométrie maxwellienne augmentée de l'espace*. 4th édition, Les Éditions SRP, Smashwords. ISBN: 9782924175033.
- [30] Michaud A. (2016). *Electromagnetic Mechanics of Elementary Particles*. Scolar's Press. ISBN 978-3-659-84420-1.

**Autres articles par le même auteur**

<http://www.gsjournal.net/Science-Journals/Essays/View/2460>