

## **Relation entre la capacité de compréhension et les zones verbales du néocortex: Une brève étude (Republication augmentée PI)**

André Michaud

Service de Recherche Pédagogique

→ [Click here for English version](#)

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

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

### **Résumé:**

Le but de cet article est de décrire sommairement comment les découvertes faites par Donald Hebb à propos de la manière dont les réseaux neuronaux multicouches du néocortex traitent et stockent l'information peuvent expliquer la relation entre nos perceptions sensorielles et les mots des langages articulés que nous utilisons pour les décrire. Description sommaire de la manière dont les découvertes de Paul Chauchard sur la relation entre le niveau d'intelligence et la densité du réseau synaptique d'interconnexions établi pendant la petite enfance dans les aires verbales du néocortex s'harmonisent avec les découvertes de Hebb. Description sommaire de la façon dont la mécanique de corrélation automatique du réseau neuronal du néocortex permet la capacité de généralisation découverte par Ivan Pavlov comme étant due à l'utilisation de langages articulés, et comment elle explique aussi pourquoi la méthode de raisonnement définie par Alfred Korzybski est si efficace pour aider à établir une compréhension plus claire de notre environnement, avec une description sommaire du mode de raisonnement par perceptions successives des cohérences que Korzybski a établi.

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

Cet article a initialement 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

<https://www.hilarispublisher.com/open-access/on-the-relation-between-the-comprehension-ability-and-the-neocortexverbal-areas-2155-6180-1000331.pdf>

Une version augmentée du même article a été republiée sur invitation en 2021 sous forme d'un chapitre de livre en tant que version finale sous le titre "[\*Relating the Comprehension Ability to the Neocortex Verbal Areas: A brief study\*](#)" dans le livre intitulé "[\*New Visions in Biological Science Vol. I\*](#)" qui fait partie d'une collection qui présélectionne des articles jugés dignes d'attention dans l'offre globale, afin de les rendre plus immédiatement accessibles à la communauté.

Michaud, A. (2021) *Relating the Comprehension Ability to the Neocortex Verbal Areas: A brief study*. In: Dr. Slawomir Borek, Editor. *New Visions in Biological Science Vol. 1*. 10 August 2021, Page 136-164. <https://doi.org/10.9734/bpi/nvbs/v1/1787C>  
<https://stm.bookpi.org/NVBS-V1/article/view/3183>

Le texte de cet article a maintenant été intégré en version finale au **Chapitre 3** de la monographie

**"Neurolinguistique générale"**

### **Autres articles dans le même projet:**

**INDEX – Neurolinguistique générale – Pensée conceptuelle**

Voici la traduction française de la version publiée en 2021 (**Chapitre 3** de 2022):

### 3. Relation entre la capacité de compréhension et les zones verbales du néocortex

Ce chapitre décrit brièvement les découvertes de Donald Hebb sur la manière dont les réseaux neuronaux multicouches du néocortex traitent et stockent les informations, ainsi que la découverte par Ivan Pavlov de la relation entre nos perceptions sensorielles et les mots des langages articulés, qui explique notre capacité de compréhension.

Les découvertes faites par Paul Chauchard de la relation entre le niveau d'intelligence atteint par les individus et la densité du réseau synaptique d'interconnexions établi pendant la petite enfance dans les aires verbales du néocortex seront mises en relation avec les découvertes de Hebb.

La mécanique de corrélation automatique du réseau neuronal multicouche du néocortex, qui permet la capacité de généralisation découverte par Ivan Pavlov comme étant due à l'utilisation de langages articulés, sera mise en corrélation avec la méthode de raisonnement définie par Alfred Korzybski, ce qui expliquera pourquoi cette dernière est si efficace pour aider à établir une compréhension plus claire de notre environnement.

Enfin, le mode de raisonnement par perceptions successives des cohérences découvert par Korzybski sera clarifié à la lumière des découvertes de Pavlov, Hebb et Chauchard.

#### 3.1. 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 conceptuelle et le langage articulé [25] ([36], voir **Chapitre 4**).

Malheureusement, cette conclusion majeure de Pavlov n'a guère été remarquée par la communauté scientifique car, à la connaissance de cet auteur, bien que les comptes rendus de ces résultats de recherche aient été initialement largement disponibles en russe, en français et apparemment aussi en allemand, son article de 1932 qui en rendait compte: *Versuch einer physiologischen Interpretation der Symptomatologie der Hysterie* ([25], p. 265) n'a pas encore été traduit en anglais à ce jour pour devenir disponible pour référencement et n'a été republié en allemand qu'en 1998.

Certains scientifiques français y ont cependant prêté attention et Paul Chauchard, neurophysiologiste renommé, directeur de recherche à *l'École des hautes études* dans les années 1940 et 50, a poursuivi les travaux de Pavlov en collaboration avec d'autres chercheurs français jusqu'à ce qu'ils découvrent la relation directe qui existe entre le niveau de maîtrise du langage et le niveau d'aisance et de justesse avec lesquels les personnes peuvent comprendre des situations, ce qui correspond en fait au niveau de compréhension effectif atteint par une personne, c'est-à-dire son *niveau d'intelligence* ([36], voir **Chapitre 4**). Il s'avère que le degré d'éveil de l'intelligence, c'est-à-dire de *la capacité de compréhension*, est une fonction directe du degré de maîtrise du langage articulé [5] ([37], voir **Section 1.11**).

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 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.

D'autre part, une personne qui serait devenue relativement compétente en matière de mécanique en lisant de la documentation de vulgarisation sur les moteurs de voiture sera capable, par exemple, après un simple coup d'œil, 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.

Cette deuxième personne pourrait aussi avoir une idée relativement claire du fonctionnement interne des divers composants du moteur et sera 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 l'esprit lorsqu'elle tente d'imaginer ce qui pourrait bien se trouver à l'intérieur du bloc moteur.

Finalement, une personne qui étudiera sérieusement pour devenir un vrai mécanicien pourra démonter le moteur, décrire en détail chaque pièce au fur et à mesure, expliquer leur fonction, et remonter avec facilité le moteur pour le remettre en état de marche. Et bien sûr, une personne qui étudie jusqu'à devenir un ingénieur aux connaissances profondes peut concevoir un tel moteur et concevoir chaque pièce avec spécifications exactes de tous les matériaux nécessaires de manière suffisamment claire pour que ce moteur puisse être construit à partir des spécifications qu'il établit.

De toute évidence, les descriptions des quatre personnes sont correctes, mais à divers degrés de précision. On peut facilement comprendre que même si la première personne ne connaît pas le terme *turbo compresseur*, elle peut néanmoins le voir. Mais n'ayant aucune connaissance à son sujet, ni aucun mot pour le nommer, elle ne pourra même pas identifier quelle partie *du moteur* serait ce turbo compresseur, ni même réaliser qu'il s'agit d'un composant distinct du moteur. Elle sera donc incapable d'y *penser*.

La différence de capacité de compréhension entre les quatre personnes sur la question des moteurs de voitures est donc strictement une différence d'étendue du vocabulaire et des informations associées, allant d'une compréhension minimale pour la première personne à une compréhension complètement objective pour la quatrième personne. Évidemment, cette relation entre le vocabulaire et la capacité de compréhension s'applique à tous les sujets, ce qui implique que la capacité de compréhension générale des personnes augmente dans la même proportion que la base de connaissances générales des individus, dont l'acquisition est à l'origine de l'augmentation concomitante du vocabulaire.

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 et de le comprendre. Pour les caractéristiques pour lesquelles nous n'avons pas de mot spécifique, nous pouvons toujours utiliser une *expression verbale*, qui est en fait une *définition verbale* qui remplace le mot spécifique que nous ne possédons pas [5] ([37], voir **Section 1.11**).

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.

## 3.2. 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, tel que mis en perspective par Korzybski.

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. Voir **Section 1.1** dans laquelle des références sont fournies à cet égard.

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 ([25], 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 [5] ([36], voir **Chapitre 4**) ([37], voir **Section 1.11**). Le mode de pensée par association d'images est la conséquence de notre conscience directe des perceptions de nos sens et de nos émotions

([21], voir **Chapitre 2**) [94], qui correspondent aux *connaissances* précédemment mentionnées, et le second mode est la conséquence de l'utilisation du langage que nous développons pour décrire et comprendre toutes les perceptions sensorielles dont nous prenons conscience et dont nous tirons d'autres conclusions.

En d'autres termes, notre *conscience d'être*, quelle qu'elle puisse être, observe le monde extérieur dans lequel nous vivons et le monde intérieur de nos émotions, dont le siège est le système limbique ([21], voir **Chapitre 2**) [94], au moyen du mode de pensée par images (pensée non verbale), mais le décrit et le comprend au moyen du langage que nous utilisons pour y penser (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 [64], et qui est le support de notre intelligence, soit le mode de pensée par association de mots qui a été découvert par Pavlov comme étant dû à l'acquisition par notre espèce du langage articulé, source de notre *capacité de compréhension* illimitée, qui nous permet d'abstraire et de généraliser les innombrables signaux que le réseau neuronal multicouche du néocortex corrèle en images macroscopiquement significatives que nous fournit le mode de pensée par images.

### 3.3. Le niveau d'intelligence peut être contrôlé

Étant donné le lien très direct maintenant identifié entre le niveau atteint dans l'apprentissage du langage articulé et le niveau d'intelligence qui en résulte, il devient possible d'adapter les méthodes d'enseignement afin d'influencer directement le processus d'apprentissage du langage articulé pendant l'enfance, de manière à accroître la maîtrise du langage des enfants à un niveau aussi élevé que possible pendant la petite enfance, ce qui aura pour effet d'améliorer leur capacité de compréhension pour le reste de leur vie.

La structure neuronale des aires verbales chez les Hommes et les femmes de toutes les races de l'espèce *homo sapiens* étant identique, on peut également en conclure que toute personne de notre espèce peut potentiellement atteindre les plus hauts niveaux de réalisation intellectuelle. Ainsi, chaque fois qu'un enfant est désigné par "lui" ou "il" pour des raisons de simplicité dans ce texte, il faut comprendre que ce terme désigne sans restriction tous les enfants de toutes les races et des deux sexes de notre espèce.

### 3.4. Le néocortex humain

Le cerveau humain est bien connu pour être un organe très complexe, composé d'environ 100 milliards de neurones. Cependant, un seul de ses composants présente un intérêt particulier pour notre étude directe, à savoir la couche la plus externe du cerveau, ou néocortex. La raison de cet intérêt particulier est que cette fine couche externe du cerveau est le siège de la mémoire, de la pensée conceptuelle et de la conscience de soi de l'individu ([21], voir **Chapitre 2**) [94].

D'un certain point de vue, le néocortex pourrait même être considéré comme l'essence même de la personne, tous les autres sous-systèmes cérébraux n'étant nécessaires que pour le nourrir et lui fournir les informations provenant du monde extérieur, qui sont nécessaires pour soutenir la 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. Cela est vrai bien sûr au niveau général. Mais au niveau biologique, les millions de terminaisons nerveuses connectées à chacun de nos sens perçoivent un flux continu d'autant de millions d'événements subatomiques séparés, qui sont détectés au niveau atomique et moléculaire, qui les alimentent directement à la couche d'entrée de diverses zones de notre système limbique et de notre néocortex ([58], p. 287), qui à son tour les corrèle automatiquement en *images* macroscopiquement significatives pendant que ces ensembles de signaux voyagent simultanément à travers les couches intercalaires de réseaux neuronaux multicouches spécialisés avant d'être livrées sous une forme que notre *esprit conscient* peut comprendre ([21], voir **Chapitre 2**) [94].

En réalité, notre néocortex est l'interface physique entre la réalité physique externe ([16], section II) ([21], voir **Chapitre 2**) [94] et notre conscience. Tous les stimuli externes qui parviennent à nos terminaisons nerveuses sont finalement introduits dans la couche d'entrée de ce réseau neuronal à 6 couches sous la forme d'un flux continu, et après avoir été traités au fur et à mesure que leurs signaux voyagent à travers les couches neurales intercalaires, fournissent toutes les corrélations macroscopiquement significatives dont nous pouvons prendre conscience et qui sont fournies à la couche de sortie.

D'une certaine manière, cette couche de sortie du néocortex est la seule *fenêtre*, ou *écran*, pour ainsi dire, à travers laquelle notre esprit conscient peut observer *la réalité physique externe* dont les signaux subatomiques sont fournis à chacun de nous par nos terminaisons nerveuses, le monde intérieur de nos émotions émanant du système limbique et enfin le modèle subjectif de la réalité qui a été progressivement élaboré dans les aires verbales à partir des conclusions que nous tirons de la réalité physique externe colorée par nos émotions ([21], voir **Chapitre 2**) [94], et pour ceux qui développent le *langage géométrique/mathématique idéalisé* à un niveau suffisant, le modèle idéalisé de la réalité qui se développe dans les autres aires de l'hémisphère verbal [32].

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 [64], 14 milliards de neurones de 3 types différents généralement disposés en 6 couches (environ 10 milliards, selon Eccles [18]). 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 lorsque l'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 ([18], 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 [16] [18] ([22], p. 146) [26] ([58], p. 640).

Selon Hebb, le processus d'apprentissage et de mémorisation implique des changements de l'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 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 pratiquement instantanément et automatiquement en temps réel à la couche de sortie, les *images* cohérente perçues dans l'ensemble de données fourni en entrée.

Même les meilleurs programmes de simulation de réseaux de neurones conçus pour opérer sur ordinateurs linéaires où 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 de manière très simple de la capacité de traitement de son propre cortex visuel, une zone du néocortex située à l'arrière du cerveau ([**Figure 1**], Vi), composée d'environ 400 millions de neurones ([18], p. 263). Le simple fait de regarder autour de soi d'un côté à l'autre pendant quelques secondes montre la facilité avec laquelle notre cortex visuel identifie les cohérences visuelles en temps réel, cohérences dont nous prenons conscience lorsqu'elles sont affichées, pour ainsi dire, au niveau de la couche de sortie de l'aire visuelle, au fur et à mesure que les informations visuelles en constante évolution sont fournies par sa couche d'entrée, composée d'environ un million de neurones ganglionnaires pour chaque œil, auxquels sont connectés plus de 100 millions de cellules réceptrices à

bâtonnets et à cônes de chacune de nos rétines, qui échantillonnent en permanence les photons de lumière visible individuels subatomiques qui leur parviennent du monde extérieur.

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 œil. Étrangement, cette couche d'entrée de la zone visuelle est située plutôt loin du néocortex, soit directement dans la rétine de chaque œil.

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* prend directement conscience, 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 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 d'exécution phénoménales atteintes par les superordinateurs linéaires modernes, que de telles performances sont encore totalement hors de portée de ces derniers, correspondant à un traitement simultané en temps réel de plus de 100 millions de pixels pour chaque configuration successive de l'image changeante fournie. Le secret réside dans le traitement simultané de tous les éléments de tout ensemble de données fourni en entrée des réseaux neuronaux par rapport à la structure séquentielle de traitement des données des ordinateurs conventionnels.

Un autre exemple, encore plus frappant, de la capacité naturelle du réseau neuronal du néocortex à percevoir les cohérences verbales disponibles dans les ensembles d'éléments fournis par les signaux sensoriels visuels est le suivant, qui a fait l'objet de nombreuses 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 drenère 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 chuaqe ltetre 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 qu'ils 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 devient beaucoup moins évidente, et il se présente alors comme un groupe de lettres disparates qui pourrait, à la limite, demeurer inintelligible.

La même capacité du réseau neuronal du néocortex à percevoir les cohérences verbales disponibles dans des ensembles de séquences de bruits non verbaux qui correspondent aux modèles verbaux fournis par les signaux auditifs a été confirmée par des recherches expérimentales menées en 2004 [95], qui ont confirmé par imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) que l'activité de décodage correspondante se produisait principalement dans les aires verbales de Wernicke et de Broca de l'hémisphère gauche et impliquait également les aires miroir non verbales de l'hémisphère droit (voir **Section 3.4.3**).

En fait, les réseaux de neurones ne sont pas des *ordinateurs* au sens habituel du terme, mais plutôt 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 [96]. Voir **Section 2.5**.

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 ([21], voir **Chapitre 2**) [94].

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"*

*Paul Chauchard, 1963 ([49], p. 59).*

Les *tâches d'interprétation primaires inconscientes* que Chauchard mentionne, correspondent bien sûr au processus d'identification automatique de la cohérence qui se produit dans l'épaisseur des 4 couches intercalaires du néocortex à mesure que les signaux d'entrée se propagent de la couche d'entrée vers la couche de sortie, dont la mécanique est expliquée à la Référence ([21], voir **Section 2.5**).

La compréhension du fonctionnement des réseaux neuronaux confirme complètement cette observation, puisque de par leur structure même, il nous est physiquement impossible de prendre conscience des signaux subatomiques individuels qui atteignent la couche d'entrée du néocortex en provenance des terminaisons nerveuses. Seules les cohérences globales qui en résultent et qui deviennent disponibles au niveau de la couche de sortie peuvent éventuellement attirer notre attention.

Pour ce faire, le néocortex se subdivise en une mosaïque de régions, chacune remplissant une fonction bien précise [18]. 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.

Cependant, l'évolution des espèces vers la complexification nous donne un indice indubitable, au moins au niveau neurophysiologique, d'une raison majeure de cette supériorité de l'espèce *homo sapiens*. Il s'agit de l'apparition, chez les premières espèces d'hominidés (*homo habilis*, puis *homo erectus*), de deux nouvelles zones dans l'un des hémisphères du cerveau, zones qui n'existent chez aucune autre espèce, pas même chez les espèces vivant actuellement les plus proches de nous, et qui n'ont atteint leur plein développement, selon nos connaissances actuelles, que chez les *néandertaliens* et les *homo sapiens*. Il s'agit de l'aire de Broca et d'un large segment de l'aire de Wernicke, qui sont génétiquement conçues pour soutenir l'établissement rapide du langage articulé chez les êtres humains ([18], 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 ([25], p. 256).

Nous allons maintenant explorer les 2 principaux aspects de l'incroyable structure neurolinguistique arborescente qui se met progressivement en place au sein de ces aires verbales à partir de la naissance sous l'impulsion de la manière dont l'enfant apprend à maîtriser le langage; extraordinaire labyrinthe virtuel multidimensionnel métaphorique au sein duquel notre conscience active circule sans cesse, *éclairant* intensément chaque *pièce*, pour ainsi dire, qu'elle visite au fur et à mesure que notre *attention* se focalise, et d'où l'on devine plus que l'on ne perçoit clairement, nombre de passages semblant s'éloigner dans toutes les directions.

### 3.4.1 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 ([5], p. 119).

Le *coefficient de cephalization* établi par Eugène Dubois [132] 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 bipartitions cellulaires sont nécessaires à la construction du cerveau humain contre 31 seulement pour les anthropoïdes ([49], p. 92).

La conscience active que nous avons de nos perceptions sensorielles induit éventuellement une structuration cérébrale d'ensembles spécifiques d'empreintes synaptiques arborescentes qui représentent et remplacent dans notre conscience les objets et événements

perçus dans l'environnement, et qui deviennent la pensée ou l'idée que nous avons de ces objets.

*"La pensée animale, dont le degré dépend de la complexité du cerveau, et la pensée humaine la plus simple, bien plus complexe à cause du progrès cérébral, sont des pensées par images. Nous avons vu comment nous apprenons à reconnaître les objets, autrui ou les parties de notre corps en associant toutes les structurations cérébrales partielles venant des divers sens. On aboutit ainsi à une structuration cérébrale d'ensemble spécifique qui représente et remplace l'objet et est la pensée ou l'idée de cet objet"*

*Paul Chauchard, 1960 ([5], p. 119)*

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 ces *images* non-verbales de l'hémisphère opposé.

*"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.*

*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."*

*Paul Chauchard, 1960 ([5], p. 121)*

### 3.4.2 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 [97] [98].

À la connaissance de cet auteur, 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* ([18], p. 263), source inestimable de références sur

l'essentiel des recherches effectuées au sujet des divers aspects neurolinguistiques de l'évolution du cerveau humain.

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 [99], 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 ([18], p. 269).

Levy a noté en 1974 que chaque côté du cerveau semblait s'affairer à exécuter des activités cognitives logiquement incompatibles avec celles de l'autre, mais qui sont 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 similarités visuelles sans s'occuper des similarités 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 ([100], pp. 121-183).

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 ([18], p. 118), et quoique au début les deux hémisphères participent à l'élaboration du langage [101], 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 [102].

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 ([5], p. 41) [23].

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 ([18], p. 101). 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* ([47], 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* ([18], p. 112) [103].

Dès 1920, Flechsig a découvert que les aires de Broca et de Wernicke étaient les dernières à se myéliniser complètement, cette myélinisation se produisant lorsque les enfants atteignent environ 7 ans d'âge, quel que soit l'état de densification dendritique qui aura été atteint dans ces zones à ce moment-là, c'est-à-dire un événement qui coïncide avec la fin de l'enfance ([18], p. 121) [7].

Il a également été confirmé par Chauchard que le cerveau humain est complètement développé, c'est-à-dire qu'il présente un réseau neuronal achevé, lorsque les enfants atteignent l'âge de 7 ans environ ([5], p. 45), ce qui signifie, étant donné que le développement des aires verbales dépend des conditions environnementales, que pour obtenir un développement optimal de ces aires, il est obligatoire que tous les aspects de l'expression verbale, de la reconnaissance auditive, de la lecture et de l'écriture soient maîtrisés au moins à un niveau de maîtrise minimale avant cet âge critique, car *tout indique que si la maîtrise suffisante de l'un de ces aspects n'est pas achevée pendant l'enfance, il devient plus difficile à acquérir plus tard* ([5], 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 [103], 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 les différents entraînements verbaux jusqu'au niveau de facilité d'utilisation pendant la période active de construction du réseau de l'enfance ([19], voir **Chapitre 5**) [20] aura un impact marqué 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 atteignable par la personne.

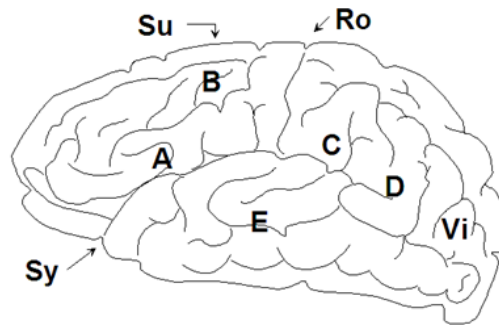
*"Passé l'âge normal du développement des centres du langage, cet apprentissage deviendra difficile.*

*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"*

*Paul Chauchard, 1960 ([5], p. 52)*

### 3.4.3 Structure de l'hémisphère verbal

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



**Figure 3.1:** 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 3.1], A) (Aussi identifiées comme coïncidant avec 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 3.1], Sy), et que Chauchard nomme aussi le *centre de l'articulation verbale* ([5], 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 praxique de l'écriture* un peu plus haut ([Figure 3.1], B), dans la zone 4 de Brodmann, vis-à-vis du centre moteur des membres supérieurs ([5], p. 110) ([64], p. 48).

La zone du néocortex où les empreintes synaptiques 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 3.1], C) (zone 40 de Brodmann), 2- le *centre de la lecture* ([Figure 3.1], D) (zone 39 de Brodmann) et 3- le *centre de l'audition des mots* ([Figure 3.1], E) (parties des zones 21, 22 et 37 de Brodmann). Les zones verbales sont aussi décrites sommairement à la Référence [58].

Ces zones vont se densifier 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 initiale 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 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 ([18], 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 ([18], 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 diverses combinaisons de mots dont l'ensemble révèle à l'occasion une signification inattendue en contexte qui active l'amygdale, qui augmente alors le niveau d'attention de la personne à propos de la signification inattendue de cette combinaison particulière de mots ([21], voir **Chapitre 2**) [94], 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, la même mécanique d'augmentation du niveau d'attention contrôlée par l'amygdale 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* [64].

### 3.5. Les réseaux de neurones artificiels

Avant d'examiner comment les premières expériences d'apprentissage des enfants conduisent au développement de la structure synaptique neurolinguistique qui soutient la pensée conceptuelle, revenons momentanément aux explorations de Hebb concernant les réseaux neuronaux multicouches, car il a été observé que les réseaux neuronaux construits artificiellement éprouvent les mêmes difficultés à résoudre les problèmes que les très jeunes enfants. Dans leur cas, cependant, le niveau de difficulté devient extrême [96].

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* [22], 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 véritables *ordinateurs* à réseaux de neurones multicouches artificiels (voir **Section 3.4**) 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 avancent 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. Cependant, les réseaux multicouches véritables ainsi que les réseaux multicouches programmés doivent être entraînés de la même manière. 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 [22]. Dans le cas des réseaux neuronaux artificiels, cependant, la méthode d'apprentissage profond dite de *Deep Learning* [63], récemment développée, a grandement facilité les tâches de formation des réseaux neuronaux artificiels.

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 *nous semble*



*plus approprié* au but recherché. C'est ici que les réseaux de neurones artificiels sont irrécupérablement handicapés par rapport à nous.

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 est associée au fait qu'un sous-ensemble nous apparaît *plus satisfaisant* ou *plaisant* qu'un autre lorsqu'ils sont comparés, est une notion qu'il a été impossible jusqu'à présent de programmer dans les réseaux de neurones artificiels.

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 lorsqu'un ensemble de données leur est fourni en entrée, l'un des sous-ensembles cohérents possibles présent dans l'ensemble fourni, aussi appropriée ou inappropriée soit-il, est toujours fourni en sortie, et que le réseau peut être entraîné par répétitions et correction de l'ensemble d'entrée à éventuellement *préférer* un type de 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 se renforcent un peu plus à chaque répétition par cette utilisation persistante pour devenir les *chemins de prédilection* par la suite ([58], p. 640) [26].

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 [22] [63].

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.

### 3.6. Acquisition du langage dans la petite enfance

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

- 1- Lorsque des ensembles d'éléments sont fournis à la couche d'entrée, une cohérence est établie selon les critères de *similarité* ou *dissimilarité*, et, de *successivité* ou *simultanéité* entre les éléments de l'ensemble. Cette cohérence sera fournie à la couche de sortie ([21], voir **Chapitre 2, Section 2.5**).

- 2- Si de nombreuses cohérences sont possibles dans un ensemble de données d'entrée donné, un seul ensemble à la fois peut être fourni à la couche de sortie.
- 3- Les cohérences peuvent être sélectionnées par rapport à plusieurs critères, soit un ensemble de critères qui constitue *le cadre de référence* décrit à la **Section 3.13.2**.
- 4- Le processus de sélection de la cohérence la plus appropriée parmi les cohérences possibles détectables dans un ensemble d'entrée pour résoudre un problème doit obligatoirement être guidé par *quelque chose* en tenant compte aussi du *cadre de référence* précédemment mentionné

Nous sommes évidemment confrontés aux mêmes caractéristiques de fonctionnement avec le néocortex, puisqu'elles caractérisent tous les réseaux de neurones multicouches.

Il a été observé que, dans le cas des jeunes enfants, leurs émotions réflexes résultant de toute sensation d'inconfort ou de plaisir provenant du système limbique ([21], voir **Chapitre 2**) [94] seront ce premier *guide* à cet égard, qui remplira la même fonction pour l'enfant que le *formateur* pour les réseaux de neurones artificiels. Cet entraînement commence très tôt pour chaque enfant. Leurs besoins physiques immédiats, comme la faim, l'inconfort, la douleur, le plaisir *déterminant le cadre de référence* dans lequel leurs *préférences* s'établissent en contexte.

Chauchard situe très clairement la source des émotions de l'individu dans l'hypothalamus ([21], voir **Chapitre 2**) [94] ([47], 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 colorés par des 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."*

*Paul Chauchard, 1958 ([47], p. 63)*

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 la 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.

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 ([16], 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 qui assure cette survie.

A 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 les 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.

### 3.7. 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 ([18], 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 pour les nommer, 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.

### 3.8. 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 ([21], voir **Chapitre 2**) [31] [33] [94], et qui est la conséquence de l'établissement 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 progressivement comprendre son environnement 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 éclos 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 arborescentes non-verbales dans lesquelles sont emmagasinés 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 (un chien d'une race qu'il ne connaît pas, par exemple) est un chien, parce que par le passé, il aura fini par comprendre et identifier correctement *l'ensemble restreint 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 avec ses parents.

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.

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 les sujets 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 l'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.

Cependant, bien que l'enfant qui grandit devienne maître du processus de raisonnement logique proprement dit, il n'apprendra pas par lui-même qu'il faut vérifier que tous les éléments sur lesquels il fonde ses conclusions sont valables. Il n'apprendra pas non plus par lui-même à définir clairement un objectif à atteindre, ainsi qu'à clairement définir le cadre de référence à l'intérieur duquel cet objectif devient clair, ce qui peut l'amener à prendre de mauvaises décisions, même s'il possède l'ensemble des connaissances requises.

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 qui lui semble possiblement appropriée. Voir **Section 3.13**.

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 qu'il réussisse lui-même 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 confirmer et en régler pour lui les causes qui seraient hors de son contrôle si la chose est possible.

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 pour l'aider à prendre correctement le contrôle de son environnement social, car leur exploration permet d'apprendre à l'enfant à devenir habile à régler de vrais problèmes d'interaction sociale.

### 3.9. 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* [49] est une excellente référence.

Ce modèle interne de la réalité que chaque personne construit en grandissant ne peut être que subjectif, car il est construit de manière unique à partir des perceptions propres à chacun, ce qui ne nous empêche pas de le considérer souvent comme étant 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 ([16], 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 ([5], 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.

Ce réseau de neurones multicouches est le siège de la pensée conceptuelle humaine ([21], voir **Chapitre 2**) [94]. Tel que déjà mentionné et clairement mis en évidence par Chauchard, la puissance d'un réseau de neurones multicouche ne dépend pas du nombre de neurones qu'il contient, mais du nombre de liens synaptiques qui existent entre ces neurones [5] [22].

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 seul 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.

### 3.10. 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: Existe-t-il des *similarités* ou des *dissimilarités* combinées à des états de *successivités* ou de *simultanités* entre les éléments de cet ensemble de signaux ? (([21], voir **Chapitre 2, Section 2.5**).

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 en provenance d'ailleurs dans les zones non-verbales du néocortex, en permettant la comparaison avec des cohérences déjà emmagasinées avec une cohérence nouvellement perçue, toujours en fonction des mêmes critères fondamentaux de *similarité*, *dissimilarité*, *simultanité* et *successivité*, conduisant à une éventuelle reconnaissance de similarité avec ces cohérences déjà établies, et d'une association de cette nouvelle cohérence avec les *réaction émotives* qui avaient été préalablement associées avec les cohérences déjà 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 lorsque l'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 activer dans son ensemble et de façon permanente le complexe réseau intercalaire ([5], 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 par exemple 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 leur 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'œil* déclenché par l'amygdale lorsque quoi que ce soit s'approche soudainement de l'œil. Il doit apprendre comment réagir à absolument tout.

### 3.11. La remise en question

Tel que mentionné précédemment, le problème posé par le fait que plusieurs *descriptions verbales* pourraient être des candidates *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 où l'habitude de resoumission volontaire a été établie, 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 plus 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 dériver peu à peu en raison de la confiance accordée à des informations, sans que nous validions systématiquement leur correspondance avec la réalité physique, jusqu'à nous procurer une vision plutôt faussée de certains aspects de cette réalité véritable, ce qui est une caractéristique du processus de pensée humain très bien comprise par les propagandistes, les publicistes et tous ceux qui cherchent à déformer l'opinion des gens pour favoriser leurs intérêts personnels, sans tenir compte des dommages potentiels que cela peut infliger aux gens en les amenant à s'écarter de la compréhension correcte de la réalité physique. Voir aussi **Section 1.10** à ce sujet.

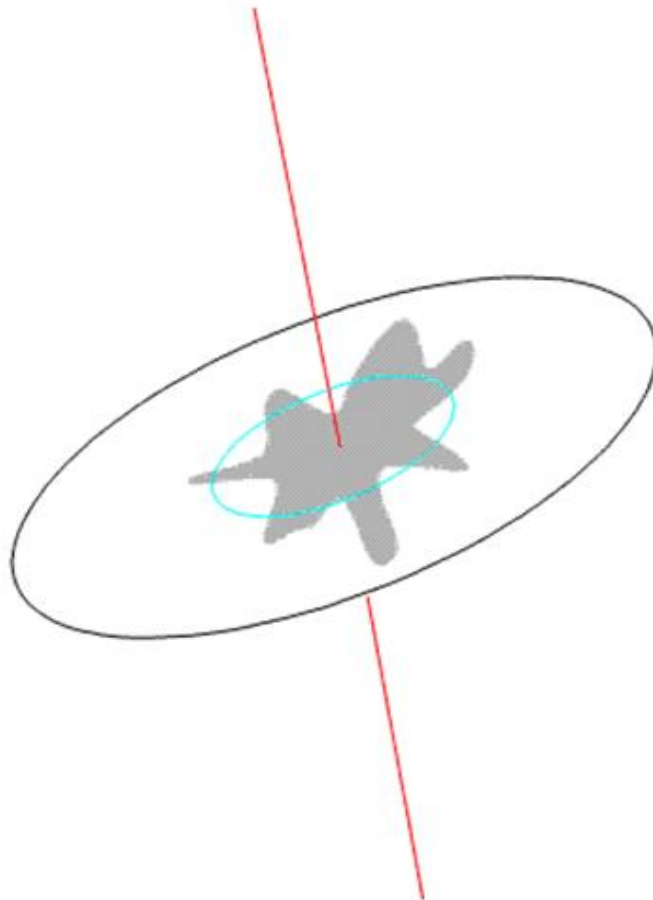
Pour que *la mécanique de resoumission* fonctionne, il est donc indispensable de prendre conscience de cette tendance inhibitrice qui nous est naturelle et qui menace constamment. C'est à dire, que si nous voulons vraiment atteindre éventuellement les conclusions véritablement justes qu'il faudrait tirer pour qu'elles reflètent complètement la réalité, il est impératif de systématiquement requestionner nos conclusions, peu importe le degré de certitude que nous pouvons momentanément avoir 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. ([36], voir **Chapitre 4**). 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.

En fait, Alfred Korzybski a développé dans les années 1920 une méthode qui intègre systématiquement le doute et la remise en question dans le processus de raisonnement, qui va maintenant être analysée et qui s'harmonise directement avec le processus de corrélation automatique des réseaux neuronaux multicouches du néocortex [13] découvert par Hebb plus de 20 ans plus tard.

Mais chacun est évidemment libre de l'utiliser 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.



**Figure 3.2:** Représentation symbolique de l'identification verbale d'événements ou concepts abstraits non-verbaux.

Nous pouvons aussi élaborer de nouveaux concepts en tirant des conclusions à propos des 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.

Représentons l'ensemble des caractéristiques connues et inconnues d'un événement non-verbal par une feuille de papier blanc, chaque atome de la feuille symbolisant l'une de ses caractéristiques spécifiques. 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 3.2**.

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 [31] ([37], voir **Section 1.11**). Le cercle intérieur de la **Figure 3.2** 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 première conclusion que nous avons tirée ait vraiment été cette conclusion optimale correspondant vraiment à la réalité.

Cependant, 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 du premier coup lorsque nous avons tiré notre première conclusion à ce sujet. Similairement, certains éléments importants qui auraient dû être considérés pourraient ne pas l'avoir été, pour de nombreuses raisons, incluant n'avoir jamais été informé de ces éléments.

Ainsi donc, en cours de réflexion sur tout sujet complexe donné, 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 avoir semblées pertinentes de prime abord, nous n'ayons pas creusé un peu trop loin dans certaines directions et pas assez dans d'autres, incorporant ainsi dans l'ensemble initialement retenu, des éléments qui en réalité auraient dû demeurer hors du cercle, et n'en retenant pas d'autres, qui auraient dû en faire partie.

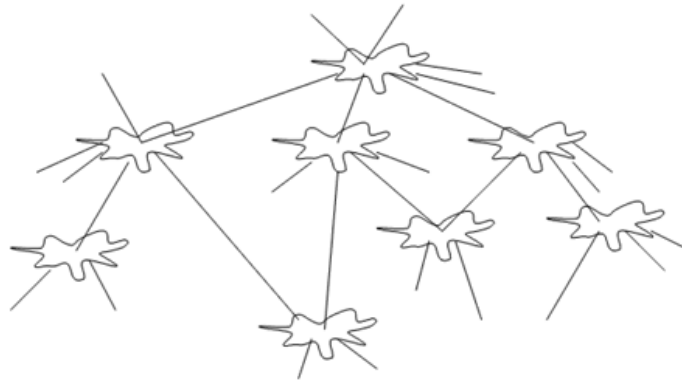
Par conséquent, l'ensemble des éléments initialement retenus avant analyse rétrospective, et qui conduisit à la première conclusion tirée, ne peut pas être circonscrit avec certitude dans un tel cercle idéal parfait. Dans le meilleur des cas, cet ensemble d'éléments *présumés valides* doit alors être symbolisé comme étant circonscrit dans la forme grise irrégulière de la **Figure 3.2**.

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 une validation rétrospective de chaque élément d'information initialement retenu qui a conduit à l'établissement de cette première cohérence globale apparemment réaliste.

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 que même une *apparence immédiate et non validée* de cohérence tend à nous satisfaire.

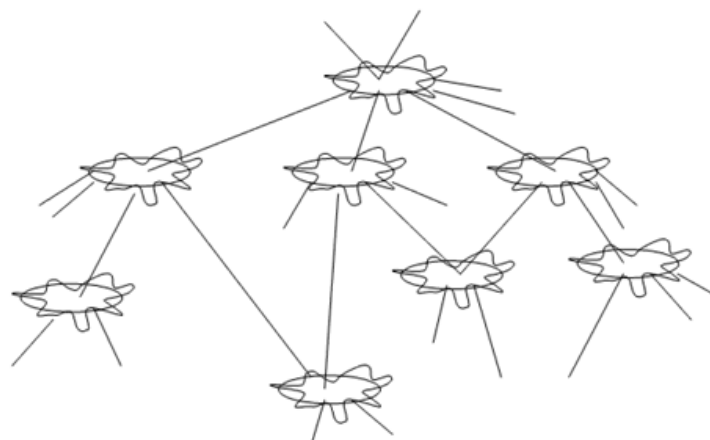
La ligne infinie qui perce perpendiculairement le centre des deux cercles représente la capacité de corrélation du cerveau. Elle est représentée comme étant perpendiculaire à la feuille blanche pour symboliser que même les atomes les plus lointains de la feuille infinie demeurent dans son *champ de vision 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 3.3** représente symboliquement un ensemble arbitrairement grand des conclusions verbales initiales que nos analyses auraient pu nous amener à tirer et que nous avons acceptées comme valides sur un certain nombre de sujets, avant validation rétrospective.



**Figure 3.3:** 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 ([37], voir **Sections 1.11** et **3.13**), associons les maintenant aux cercles parfaits qui symbolisent l'ensemble restreint optimal qui aurait dû être considéré dans chaque cas (**Figure 3.4**).

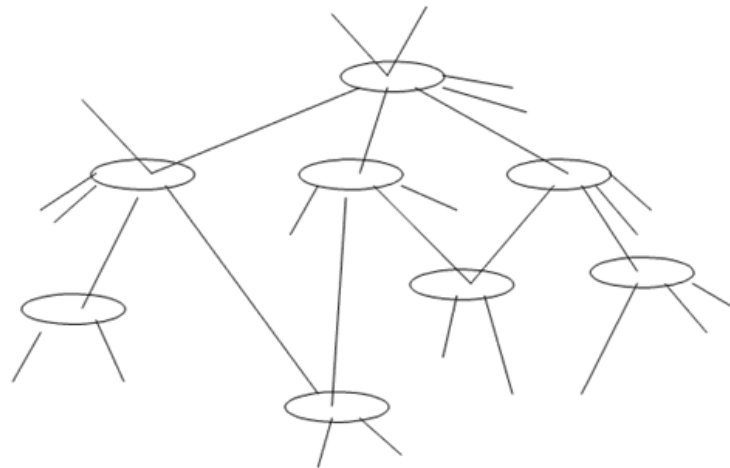


**Figure 3.4:** Représentation des nos conclusions verbales initiales, versus les conclusions verbales finales objectives.

Il devient maintenant évident que certains éléments des ensembles initialement retenus pourraient bien se trouver à l'extérieur du cercle représentant l'ensemble objectif idéal, un état qui ne deviendra évident que lors de la validation ultérieure de chaque élément retenu dans chaque ensemble initial, de l'exclusion d'éléments jugés non réellement pertinents et de l'inclusion d'éléments potentiellement importants qui n'avaient pas été considérés initialement.

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 de 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 3.5**.



**Figure 3.5:** Représentation de nos conclusions verbales objectives finales suffisamment validées.

### 3.12. Prise de 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 ou dans les zones du *langage géométrique/mathématique symbolique idéalisé* pour ceux qui ont développé le mode de pensée du langage mathématique ([21], voir **Section 2.27**) [32] [94].

Le processus de resoumission des cohérences perçues semble totalement automatique et hors de notre contrôle direct 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 demeurent interconnectées pendant qu'elles s'emmagasinent dans le réseau, où elles deviennent disponibles pour utilisation par notre *esprit conscient*.

Ce processus semble aussi totalement automatique jusqu'à un certain point dans les *zones verbales* et dans les *zones du langage géométrique/mathématique idéalisé*, mais comme nous l'avons vu, le processus peut être forcé à s'arrêter net lorsque la personne devient certaine de toute conclusion donnée. Il est toutefois possible et relativement facile de surmonter cette impression trompeuse de certitude et 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 ([31], 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 sera également vraie*.

Cependant, la logique qui doit être utilisée pour corrélérer correctement tous les éléments d'un ensemble fourni à l'entrée des zones verbales ([31], Chapitre *Définition du processus de compréhension*), demande en plus, que le cadre de référence à l'intérieur duquel l'ensemble sera considéré soit d'abord 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. Voir **Section 3.13**.

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 ([33], Chapitre *Infrastructure d'indexation associative par inclusion*) (voir **Section 2.4.2**), nous donne accès à tous les éléments de notre modèle subjectif personnel de la réalité ([16], 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 arborescente 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 de ces sous-structures synaptiques sont elles-mêmes des structures synaptiques de liens qui associent par inclusion arborescente tous les éléments auxquels un de leurs liens est connecté. 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 au 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 (Réf : **Figure 3.3**) de cette idée est suffisamment insatisfaisant pour inciter l'amygdale à augmenter notre niveau d'attention jusqu'à nous inciter à remettre en question le problème non résolu ([21], voir **Chapitre 2**) [94], nous nous posons alors des questions qui déclenchent des processus de corrélation ([31], 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 3.4 et 3.5**).

Un processus de corrélation consiste en une cascade de séquences successives d'association de données redéclenchées automatiquement par l'amygdale jusqu'à une conclusion apparemment satisfaisante, qui va progressivement porter au premier plan de notre attention, l'ensemble des éléments corrélés pertinents (bien sûr, uniquement ceux dont la personne aura pris conscience), et lorsqu'une conclusion satisfaisante aura été perçue, l'arborescence d'interconnexions synaptiques qui associe ces éléments sera renforcée dans son ensemble par l'hippocampe, et deviendra naturellement une nouvelle sous-structure

hiérarchique dans laquelle chacun des liens nouvellement renforcés menant à chaque élément de l'ensemble nouvellement corrélé sera inclus ([21], voir **Chapitre 2**) [94].

Par la suite, l'aspect non résolu de l'idée qui a provoqué la formulation d'une question, au lieu d'activer la question, activera directement l'arborescence de connexions synaptiques renforcées menant aux éléments dont la corrélation a permis de répondre à la question.

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 corrélérer qui pourraient contribuer à répondre à la question ([31], 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 corrélérer. 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 *éclair 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 qui 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 conscient* 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 conscient 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 arborescentes correspondant aux éléments considérés ne sont pas physiquement déplacées dans le néocortex, mais que des liaisons synaptiques temporaires sont plutôt renforcées vers les lieux où elles sont physiquement stockées. Ces connexions deviennent alors plus fortes et plus durables uniquement pour les éléments appartenant à l'ensemble qui constitue la réponse à la question qui a déclenché le processus, car l'hippocampe renforce l'arborescence globale spécifique qui satisfait la personne ([21], voir **Chapitre 2**) [94].

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.

### 3.13. Raisonnement par perception de cohérences

Le raisonnement logique implique un processus de construction par lequel les caractéristiques des éléments d'un ensemble sont étudiées en vue d'identifier clairement

quelles caractéristiques des éléments de l'ensemble sont pertinentes en vue de résoudre une question à traiter.

Le point de départ de tout raisonnement logique est toujours une cohérence perçue dans un ensemble initial d'éléments qui semblent pertinents pour résoudre la question à traiter. 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 [104] [105] [106] et Edsger W. Dijkstra [107], car leurs approches s'harmonisent parfaitement avec les découvertes de Hebb concernant le fonctionnement du processus automatique de corrélation des réseaux de neurones multicouches [26].

Le développement de chaque séquence logique demande de suivre rigoureusement les critères de la logique formelle ([31], Chapitre *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 que l'on peut acquérir en apprenant à démontrer les théorèmes géométriques d'Euclide, par exemple.

### 3.13.1. 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, 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 censée s'appliquer a été obtenue.

L'établissement verbal volontaire de tels cadres de référence focalise plus étroitement la recherche automatique de cohérence du réseau neuronal en fonction des critères de *similarité* ou *dissimilarité*, et de *successivité* ou de *simultanéité* qui s'appliqueront à l'ensemble restreint d'éléments qui en résultera et qui alimentera la couche d'entrée.

### 3.13.2. Définition du cadre de référence d'un ensemble d'éléments à considérer

Cadre de référence: Ensemble des 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 caractéristiques et recherche subséquente des éléments qui correspondent à toutes ces caractéristiques.
- 2- Considération d'un ensemble d'éléments et identification de toutes les caractéristiques qui sont communes à tout sous-ensemble donné de ces éléments.

### 3.13.3. Méthode de raisonnement par perception de cohérences

Tout ensemble initial d'éléments choisis en vue d'une conclusion quelconque, tel que représenté à la **Figure 3.3**, peut toujours être amené à évoluer vers l'ensemble ultime le plus restreint d'éléments objectifs, correspondant à la **Figure 3.5**, qui permettra une compréhension objective du concept exploré. Pour ce faire, on soumet successivement le



sous-ensemble initial et les sous-ensembles suivants à autant d'itérations que nécessaire pour identifier cet ensemble d'éléments objectifs le plus restreint, à partir duquel une conclusion objective ultime peut être obtenue.

Un examen attentif de chaque corrélation successive automatiquement filtrée par le réseau mettra en évidence tout aspect de la question circonscrite par le cadre de référence qui demeure vague ou inexplicé, permettant ainsi de détecter tout élément de l'ensemble qui peut sembler contribuer à cet état, et dont l'exclusion aiderait possiblement à clarifier cet aspect de la question.

Ou alternativement, si aucune clarification de ce point n'est obtenue par resoumissions successives de l'ensemble en excluant un à un, le cas échéant, le ou les éléments soupçonnés d'interférer, la seule avenue possible pour clarifier ce point de la question consistera à se mettre à la recherche de tout élément(s) extérieur à l'ensemble, dont compte n'a pas été tenu auparavant, et de l'inclure dans l'ensemble s'il était par ailleurs connu, et de recommencer le processus d'examen.

Si aucun élément extérieur connu par l'individu ajouté à l'ensemble ne permet de résoudre la question, cela signifie que soit cette information est peut-être connue mais n'est pas venue à la connaissance du chercheur, auquel cas des discussions avec d'autres personnes ou des recherches dans la littérature permettront éventuellement de localiser cet élément, ou alors qu'elle n'a pas encore été découverte ou établie par personne, soit un cas qui ouvre la voie à des projets de recherche destinés à approfondir notre niveau de connaissances fondamentales sur cet aspect particulier de la réalité physique.

#### 3.13.4. Preuve par démonstration de la validité de cette méthode

Un exemple détaillé d'une telle séquence de raisonnement est décrit à la Référence [35]. En fait, cet exemple particulier a conduit à la définition d'une nouvelle géométrie de l'espace qui émerge naturellement de l'interprétation initiale de Maxwell à propos de la relation entre le champ électrique et le champ magnétique de l'énergie électromagnétique se déplaçant librement dans l'espace [38] [45] [46] [125], d'où émergent à leur tour des conclusions ultimes qui, si elles sont confirmées comme correspondant à la réalité physique, confirmeront également la validité de la méthode de raisonnement par perception de cohérences décrite dans cette section [43] [44] [108], fournissant ainsi un outil supplémentaire pour explorer la réalité physique.

### 3.14. Conclusion

La réalité objective est ce qui se produit réellement, dont les innombrables signaux subatomiques sont détectés par nos terminaisons nerveuses et transmis à la couche d'entrée de notre néocortex, dont les interprétations macroscopiques automatiquement corrélées sont fournies à notre conscience active au niveau de sa couche de sortie. Cela signifie que nous sommes physiologiquement incapables d'observer directement cette réalité objective.

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 assembler 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 constituée par l'ensemble des événements de toutes natures qui se produisent dans l'univers au fur et à mesure de l'avancement du moment présent [44], impliquant les particules élémentaires stables constituant la matière et l'énergie [43] [108] et tout ce qui peut être construit avec ces particules, 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 ([21], voir Chapitre 2) [94].

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Binet, A. & Simon, T. (1905) Méthodes nouvelles pour le diagnostic du niveau intellectuel des anormaux. *L'Année psychologique*, vol. 11, 1905, p. 191-244.  
<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k9647203g/f207.image>
- [2] Terman, L.M. (1915) *The Mental Hygiene of Exceptional Children*. The Pedagogical Seminary. 22 (4): 529–537.  
<https://bir.brandeis.edu/bitstream/handle/10192/27397/512%20p-20.pdf?sequence=1>
- [3] Getzels, J.W. & Jackson, P.W. (1962) *Creativity and Intelligence: Explorations with gifted children*. Wiley, New York,  
<https://www.semanticscholar.org/paper/Creativity-and-intelligence-:-explorations-with-Getzels-Jackson/57e6cf92a398c317702b6b0ce4e8dd295ef8a473>
- [4] Carrel, A. (1950) *Réflexions sur la conduite de la vie*. Librairie Plon, Paris.
- [5] Chauchard P. (1960) *Le cerveau et la conscience*, Les éditions du Seuil, France.
- [6] Fabbro, F. (2013) *The neurolinguistics of bilingualism: An introduction*. Psychology Press; 2013 May 24.  
<https://www.routledge.com/The-Neurolinguistics-of-Bilingualism-An-Introduction/Fabbro/p/book/9781138877245>
- [7] Flechsig P. (1920) *Anatomie des Menschlichen Gehirns und Rückenmarks auf Myelogenetischen Grundlage*, Leipzig, Thieme.
- [8] Doman, Glenn (1963) *Teach your Baby to Read*, Random House.
- [9] Dodson, Fitzhugh (1971). *How to Parent*. USA.
- [10] Piaget, J., (1974) *The Origins of Intelligence in Children*, International Universities Press. USA.
- [11] Piaget, J., (2001) *The Language and Thought of the Child*, Routledge & Kegan, London.
- [12] Korzybski A (1921) *Manhood of Humanity*. The Institute of General Semantics. , Second Edition, First Printing 1921, Third Printing 1974.
- [13] Korzybski A (1933) *Science & Sanity*. The Institute of General Semantics. First Edition 1933, Fourth Edition 1958.
- [14] Dumont, F. (1997) *L'intégrité scientifique en zone grise*, Les Édition Deslandes, Québec. Canada.
- [15] Michaud, A. (1999) *Élite en faillite*. Les Éditions SRP. Première publication en livre de poche en 1999. Republié en format eBook revise en 2012. Smashwords. ISBN 9782924175026.  
<https://www.smashwords.com/books/view/178846>
- [16] Michaud A (2012) *Un avenir en héritage*. Les Éditions SRP. Première publication en livre de poche en 1999. Republié en format eBook révisé en 2012. Smashwords. ISBN: 9782924175002

<https://www.smashwords.com/books/view/160990>

- [17] 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.  
<https://www.hilarispublisher.com/open-access/on-the-relation-between-the-comprehension-ability-and-the-neocortex-verbal-areas-2155-6180-1000331.pdf>
- [18] Eccles, J.C. (1992) *Évolution du cerveau et création de la conscience*, Flammarion. France. ISBN 2-08-081294-7.
- [19] Michaud A (2016) Critical Analysis of a Field Research Report on ADD and ADHD. *Int J Swarm Intel Evol Comput* 5: 142. doi: 10.4172/2090-4908.1000142.  
<https://www.longdom.org/open-access/critical-analysis-of-a-field-research-report-on-add-and-adhd-2090-4908-1000142.pdf>
- [20] Michaud, A. (2021) Field Research Report on ADD and ADHD: A Critical Analysis. In: Dr. Fahmida Khan, Editor. *Current Approaches in Science and Technology Research Vol. 2*, 93–102. <https://doi.org/10.9734/bpi/castr/v2/8835D>.  
<https://stm.bookpi.org/CASTR-V2/article/view/1216>
- [21] Michaud, A. (2019). The Mechanics of Conceptual Thinking. *Creative Education*, 10, 353-406.  
<https://doi.org/10.4236/ce.2019.102028>.  
<https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=90657>
- [22] Anderson, J.A. (1995) *An Introduction to Neural Networks*. A Brandford Book. The MIT Press. London, England. ISBN 0-262-01144-1.
- [23] Pavlov, I.P. (1928) *Conditioned Reflexes, an Investigation of the Physiological Activity of the Cerebral Cortex*, translated and edited by G. V. Anrep, London, New York.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4116985/>
- [24] Pavlov, I.P. (1929) *Lectures on Conditioned Reflexes*, Translated by W. H. Gantt, New York.  
<http://digitalcommons.hsc.unt.edu/hmedbks/35/>
- [25] Pickenhein, L. (1998), I.P. Pawlow, *Gesammelte Werke*. Ergon Verlag. ISBN 3-932004-68-X.
- [26] Hebb, D. (1949) *The Organization of Behavior*, Wiley, New York, 1949.  
<https://www.amazon.com/Organization-Behavior-Neuropsychological-Theory/dp/041565453X>
- [27] Saul, J.R. (1996) *The Doubter's Companion*, John Saul, ISBN: 0140237070.
- [28] Michaud, A. (2021). De Broglie's Double-Particle Photon. In: Dr. Jelena Purenovic, Editor. *Newest Updates in Physical Science Research Vol. 4*, 63–102.  
<https://doi.org/10.9734/bpi/nupsr/v4/1979F>
- [29] Marmet, P. (2005) Paul Marmet, Ph. D. (1932-2005). About the Author. Authorized by the Estate of Paul Marmet.

<http://www.newtonphysics.on.ca/info/author.html>

- [30] Petkov, V. (2021) *Seven Fundamental Concepts in Spacetime Physics*. SpringerBriefs in Physics. Switzerland. ISBN 978-3-030-75637-6.  
<https://www.amazon.ca/dp/B0976R88S3?tag=sa-symca-20&linkCode=osi&th=1&psc=1&doi=2021-01-11&cmpgn=nov20&o=APN12178&p2=%5EEQ%5Enov20%5E>
- [31] Michaud A (1997). *Le système d'opération d'Einstein*. Les Éditions SRP. Smashwords. ISBN: 9782980538995  
<https://www.smashwords.com/books/view/154227>
- [32] Amalric, M. & Dehaene, S. (2016). Origins of the brain networks for advanced mathematics in expert mathematicians. *Proc Natl Acad Sci U S A*, April 2016.  
<http://www.unicog.org/publications/Amalric%20Dehaene%20fMRI%20of%20math%20and%20language%20in%20professional%20mathematicians%20PNAS%202016%20plus%20SI.pdf>
- [33] Michaud A (2003). *Les fondements neurolinguistiques de l'intelligence*. Les Éditions SRP. Smashwords. ISBN: 9782980538988.  
<https://www.smashwords.com/books/view/156882>
- [34] Poincaré, H. (1905). *La valeur de la science*. Flammarion.s 171 to 187.
- [35] Michaud, A. (1999). *Théorie des attracteurs discrets*, Les Éditions SRP. Smashwords. ISBN: 9782924175019.  
<https://www.smashwords.com/books/view/159189>
- [36] Michaud A (2016) *Intelligence and Early Mastery of the Reading Skill*. *J Biom Biostat* 7: 327. doi: 10.4172/2155-6180.10003.  
<https://www.hilarispublisher.com/open-access/intelligence-and-early-mastery-of-the-reading-skill-2155-6180-1000327.pdf>
- [37] Michaud A (2016) *Comprehension Process Overview*. *J Biom Biostat* 7: 317. doi:10.4172/2155-6180.1000317.  
<https://www.hilarispublisher.com/open-access/comprehension-process-overview-2155-6180-1000317.pdf>
- [38] Michaud, A. (2012) *Géométrie maxwellienne augmentée de l'espace*. Les Éditions SRP. Smashwords. ISBN: 9782924175033.  
<https://www.smashwords.com/books/view/163704>
- [39] Michaud A (2016) *On Adiabatic Processes at the Elementary Particle Level*. *J Phys Math* 7: 177. doi: 10.4172/2090-0902. 1000177.  
<https://www.hilarispublisher.com/open-access/on-adiabatic-processes-at-the-elementary-particle-level-2090-0902-1000177.pdf>
- [40] Michaud A (2017) *The Last Challenge of Modern Physics*. *J Phys Math* 8: 217. doi: 10.4172/2090-0902.1000217  
<https://www.hilarispublisher.com/open-access/the-last-challenge-of-modern-physics-2090-0902-1000217.pdf>

- [41] Michaud A. (2017) *Gravitation, Quantum Mechanics and the Least Action Electromagnetic Equilibrium States*. J Astrophys Aerospace Technol 5: 152. doi:10.4172/2329-6542.1000152.  
<https://www.hilarispublisher.com/open-access/gravitation-quantum-mechanics-and-the-least-action-electromagnetic-equilibrium-states-2329-6542-1000152.pdf>
- [42] Michaud, A. (2018). *The Hydrogen Atom Fundamental Resonance States*. Journal of Modern Physics, 9, 1052-1110. doi: 10.4236/jmp.2018.95067.  
<https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=84158>
- [43] Michaud, A. (2020) *Electromagnetism according to Maxwell's Initial Interpretation*. Journal of Modern Physics, 11, 16-80. <https://doi.org/10.4236/jmp.2020.111003>.  
<https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=97772>
- [44] Michaud, A. (2016) *On the Birth of the Universe and the Time Dimension in the 3-Spaces Model*. American Journal of Modern Physics. Special Issue: Insufficiency of Big Bang Cosmology. Vol. 5, No. 4-1, 2016, pp. 44-52. doi: 10.11648/j.ajmp.s.2016050401.17.  
<http://article.sciencepublishinggroup.com/html/10.11648.j.ajmp.s.2016050401.17.html>
- [45] Michaud, A. (2017) *Mécanique électromagnétique des particules élémentaires – 2e Édition*. Éditions Universitaires Européennes. Germany. ISBN-13: 978-3-330-87852-5.  
<https://www.morebooks.de/store/gb/book/electromagnetic-mechanics-of-elementary-particles/isbn/978-3-330-65345-0>
- [46] Michaud, A. (2020) *Introduction à l'électromagnétisme selon Maxwell – Mécanique électromagnétique*, Generis Publishing, ISBN 978-9975-3238-4-0.  
<http://generis-publishing.com/book.php?title=introduction-to-electromagnetism-according-to-maxwell-electromagnetic-mechanics>
- [47] Chauchard, P. (1963). *Le cerveau humain*, Presses Universitaires de France. Que sais-je? No. 768. France.
- [48] Van der Poll, M. (2015) *Conceptual thinking: How to quantify meaning in projects and processes through structured non-linear thinking*. MS thesis. UNL, 2015.  
[https://digitalcommons.unl.edu/arch\\_id\\_theses/14/](https://digitalcommons.unl.edu/arch_id_theses/14/)
- [49] Chauchard, P. (1963) *Physiologie de la conscience*, Presses Universitaires de France. Que sais-je? No. 333. France.
- [50] Vekker. L.M. (2000) *Психика и реальность. Единая теория психических процессов (Mind and reality: A unified theory of the mental processes)*. Ozon.  
<https://www.ozon.ru/product/psihika-i-realnost-edinaya-teoriya-psihicheskikh-protsessov-13605841/?sh=tpgD8KnC>
- [51] Chuprikova, N.I. (2007) *Psychology of cognitive development: Principle of differentiation*. St.-Petersburg; 2007. (In Russian).
- [52] Volkova, E.V. (2013) *Developmental learning: Theoretical and empirical considerations*. Procedia-Social and Behavioral Sciences. 2013. 82.81–86.

- [53] Volkova, E.V. (2014) *The nature of creativity: Differentiation-integration approach*. Humanities and Social Sciences Review (HSSR). 2014;3(2):375–388.
- [54] Kholodnaya, M.A. & Volkova, E.V. (2016) Conceptual structures, conceptual abilities and productivity of cognitive functioning: The ontological approach. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2016;217:914-922.
- [55] Starr, A.; Libertus, M.E.; Brannon E.M. (2013) *Number sense in infancy predicts mathematical abilities in childhood*. *Proc Natl Acad Sci USA* 110(45):18116–18120.  
<https://www.pnas.org/content/pnas/110/45/18116.full.pdf>
- [56] Chomsky, N. (2006) *Language and Mind*. Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-67493-5.
- [57] Bergelson, E. & Swingley, D. (2012) *At 6-9 months, human infants know the meaning of many common nouns*. Willem J. M. Levelt, Max Planck Institute for Psycholinguistics.  
[doi.org/10.1073/pnas.1113380109](https://doi.org/10.1073/pnas.1113380109).  
<https://www.pnas.org/content/109/9/3253>
- [58] Shepherd G. (1994). *Neurobiology*. Third edition. Oxford University Press. New York.
- [59] Peterson, J.B. (1999). *Maps of Meaning*, New York. Routledge. ISBN 9780415-922227.
- [60] Halgren, E. (1999). Emotional neurophysiology of the amygdala within the context of human cognition. In J.P. Aggleton (Ed.) *The amygdala: Neurobiological aspects of emotion, memory and mental dysfunction* (pp. 191-228). New York: Wiley-Liss.
- [61] Van Petten, C.; Luka, B. (2006). "*Neural localization of semantic context effects in electromagnetic and hemodynamic studies*. *Brain and Language*. **97** (3): 279–293.  
[doi:10.1016/j.bandl.2005.11.003](https://doi.org/10.1016/j.bandl.2005.11.003)
- [62] Bickart, K.C.; Dickerson, B.C.; Feldman Barret, L. (2014). *The amygdala as a hub in brain networks that support social life*, Elsevier [dx.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.08.013](https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.08.013).  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0028393214002760?via%3Dihub>
- [63] Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press. ISBN 0262035618.  
<https://www.deeplearningbook.org/>
- [64] Chauchard, P. (1970), *Le langage et la pensée*, Presses Universitaires de France. Que sais-je? No. 698. France.
- [65] Chauchard, P. (1944). *Les messages de nos sens*, Presses Universitaires de France. Que sais-je? No. 138. France.
- [66] Chauchard, P. (1960), *La chimie du cerveau*, Presses Universitaires de France. Que sais-je? No. 94. France.
- [67] Chauchard P. (1970), *Le système nerveux*, Presses Universitaires de France. Que sais-je? No. 8. France.

- [68] Blayo, F. & Verleysen, M. (1996), *Les réseaux de neurones artificiels*, Presses Universitaires de France. Que sais-je? No. 3942. France.
- [69] Droit-Volet, S., Coull, J. (2015) *The Developmental Emergence of the Mental Time-Line: Spatial and Numerical Distortion of Time Judgement*. PLoS ONE 10(7): e0130465. doi:10.1371/journal.pone.0130465  
<https://www.lapsco.fr/sites/droit-volet/files/2011/01/Droit-VoletCoull2015.pdf>
- [70] Blackbill, Y., Fitzgerald, H.E. (1972) *Stereotype Temporal Conditioning in Infants*. Psychophysiology. Volume 6. Issue 6, p. 569-577. Wiley.  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1469-8986.1972.tb00766.x>
- [71] Brannon, E.M., Suanda, S., Libertus, K. (2010) *Temporal discrimination increases in precision over development and parallels the development of numerosity discrimination*. NIH Public Access. Dev Sci. 2007 November ; 10(6): 770–777. doi:10.1111/j.1467-7687.2007.00635.x.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2918408/pdf/nihms213768.pdf>
- [72] Hawkins, J. & Blakeslee, S. (2004). *On Intelligence*. Owl Books. New York.
- [73] Lacy, J.W. & Stark, E.L. (2013) *The neuroscience of memory: implications for the courtroom*. Nature Reviews Neuroscience 14, 649-658 doi: 10.1038/nrn3563.  
<https://www.nature.com/articles/nrn3563>
- [74] Giancoli, D.C. (2008) *Physics for Scientists & Engineers*. Pearson Prentice Hall, USA.
- [75] Sears, W., Zemansky, M.W. & Young, H.D. (1982) *University Physics*. Addison-Wesley, USA.
- [76] Breidenbach, M. et al. (1969) *Observed Behavior of Highly Inelastic Electron-Proton Scattering*, Phys. Rev. Let., Vol. 23, No. 16, 935-939.  
<https://www.slac.stanford.edu/pubs/slacpubs/0500/slac-pub-0650.pdf>
- [77] Michaud, A. (2013). *The Mechanics of Neutron and Proton Creation in the 3-Spaces Model*. International Journal of Engineering Research and Development. e-ISSN: 2278-067X, p-ISSN : 2278-800X, Volume 7, Issue 9. pp. 29-53.  
<http://ijerd.com/paper/vol7-issue9/E0709029053.pdf>
- [78] Howell, R.W. & Bradley, W.J. (2001) *Mathematics in a Postmodern Age*. William B. Eerdmans Publishing Company, Grand Rapids, Michigan.
- [79] Çengel, Y.A. & Boles, M.A. (2002) *Thermodynamics - An Engineering Approach*. McGraw Hill, USA.
- [80] Meriam, J.L. & Kraige, L.G. (2003) *Engineering Mechanics Dynamics*. John Wiley and Sons. USA.
- [81] Rao, S.S. (2005) *Mechanical Vibrations*. Pearson Prentice Hall, Singapore.
- [82] Hibbeler, R.C. (2005) *Mechanics of Materials*. Pearson Prentice Hall, USA.
- [83] Griffiths, D.J. (1999) *Introduction to Electrodynamics*. Prentice Hall, USA.
- [84] Jackson, J.D. (1999) *Classical Electrodynamics*. John Wiley & Sons. USA.



- [85] Cornille, P. (2003) *Advanced Electromagnetism and Vacuum Physics*. World Scientific Publishing, Singapore.
- [86] Michaud, A. (2016). *On De Broglie's Double-particle Photon Hypothesis*. J Phys Math 7: 153. doi:10.4172/2090-0902.1000153.  
<https://www.hilarispublisher.com/open-access/on-de-broglies-doubleparticle-photon-hypothesis-2090-0902-1000153.pdf>
- [87] Fankel, T. (1997) *The Geometry of Physics*. Cambridge University Press. USA.
- [88] Hassani, S. (1999) *Mathematical Physics*. Springer-Verlag. USA.
- [89] Eisberg, R. and Resnick, R. (1985) *Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei, and Particles*. 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York.
- [90] Lide, D.R., Editor-in-chief (2003). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 84<sup>th</sup> Edition 2003-2004, CRC Press, New York.
- [91] Michaud, A. (2013) *Unifying All Classical Force Equations*, International Journal of Engineering Research and Development, e-ISSN: 2278-067X, p-ISSN: 2278-800X, Volume 6, Issue 6 (March 2013), PP. 27-34.  
<http://www.ijerd.com/paper/vol6-issue6/F06062734.pdf>
- [92] Michaud, A. (2017). *Mécanique électromagnétique des particules élémentaires*. 2e édition Éditions universitaires européennes. Saarbrücken, Germany. 2017. ISBN: 978-3-330-87852-5.  
<https://www.morebooks.de/store/fr/book/m%C3%A9canique-%C3%A9lectromagn%C3%A9tique-des-particules-%C3%A9l%C3%A9mentaires/isbn/978-3-330-87852-5>
- [93] Michaud, A. (2020) *Introduction à l'électromagnétisme selon Maxwell :-Mécanique électromagnétique*, Generis Publishing, ISBN 978-9975-3238-4-0.  
<http://generis-publishing.com/book.php?title=introduction-a-lelectromagnetisme-selon-maxwell-mecanique-electromagnetique>
- [94] Michaud, A. (2020) *Advancement on the mechanics of conceptual thinking*. In: Dr. Sachin Kumar Jain & Dr. Alina Georgeta Mag, Editors. New Horizons in Education and Social Studies Vol. 6, Chapter 4. West Bengal, India: Book Publisher International; 2020.  
<https://bp.bookpi.org/index.php/bpi/catalog/book/338>
- [95] Giraud, A.L., Kell, C., Thierfelder, C., Sterzer, P., Russ, M.O., Preibisch, C., Kleinschmidt, A. (2004) *Contributions of sensory input, auditory search and verbal comprehension to cortical activity during speech processing*. Cerebral cortex. 2004;14(3):247-55.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14754865/>
- [96] Lawrence, J. (1990) *Untangling neural nets*, Dr. Dobb's Journal.
- [97] 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. 1977;45-62.

- [98] Hamilton, C.R. (1977) *An Assessment of hemispheric specialization in monkeys*, Ann. NY Acad. Sci. 1977;299:222-32.
- [99] Goldman, P.S., Nauta, W.J.H. (1977) *Columnar distribution of cortico-cortical fibres in the frontal association, limbic and motor cortex of the developing rhesus monkey*, 1977, Brain Res. 1977;122:393-413.
- [100] Levy, J. (1974) *Psychological implications of bilateral asymmetry*. In S. J. Dimond and J. G. Beaumont. *Hemisphere Function in the Human Brain*, New York, Wiley.
- [101] Basser, L.S. (1962) *Hemiplegia of early onset and the faculty of speech with special reference to the effects of hemispherectomy*, brain. 1962;85:427-60.
- [102] Kimura, D. (1962) *Functional asymmetry of the brain in dichotic listening*, cortex. 1962;3:167-78.
- [103] Lenneberg, E.H. (1967) *Biological foundations of language*, New York, Wiley; 1967.
- [104] Warnier, J.D. (1981) *Logical construction of systems*. Éditions d'Organisation.  
<https://sergemeneut0.wixsite.com/logiqueinformatique>
- [105] Warnier, J.D. (1971) *Les procédures de traitement et leurs données*. Éditions d'Organisation.
- [106] Warnier, J.D. (1971) *Pratique de l'organisation des données d'un système*. Éditions d'Organisation; 1971.
- [107] Dijkstra, E.W. (1972) *Structured programming*. Academic Press; 1972. ISBN 0-12-200550-3.
- [108] Michaud, A. (2020) *Emphasizing the electromagnetism according to maxwell's initial interpretation*. In: Dr. Thomas F. George, Editor. Chapter 4 In *New Insights into Physical Science Vol. 10*, Chapter 4. West Bengal, India: Book Publisher International; 2020.  
<https://bp.bookpi.org/index.php/bpi/catalog/book/350>
- [109] Pavlov, I. P. (1928) *Conditioned Reflexes, an Investigation of the Physiological Activity of the Cerebral Cortex*, translated and edited by G. V. Anrep, London, New York.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4116985/>
- [110] Pavlov, I.P. (1929) *Lectures on Conditioned Reflexes*, Translated by W. H. Gantt, New York.  
<https://www.jstor.org/stable/2013906>
- [111] Cohen, R. & Söderbergh R. (1998). *Apprendre à lire avant de savoir parler*. Albin Michel. France.
- [112] Boulanger, F. (1992) *Lire à 3 ans*. Nathan Fernand. France.
- [113] Cougnenc, J. (1986) *Pour mieux apprendre à parler et à lire*, Éditions les Plaisirs et les Jeux, France.
- [114] Cougnenc, J. (2002) *Un enseignement moderne de la lecture*, Les Éditions SRP, Canada.

- [115] Flood, A. (2016). *Finland ranked world's most literate nation*. The Guardian. Friday 11 March 2016.  
<https://www.theguardian.com/books/2016/mar/11/finland-ranked-worlds-most-literate-nation>
- [116] OECD Country Note. (2013) *Finland Survey of Adult Skills first results*.  
<https://www.oecd.org/skills/piaac/Country%20note%20-%20Finland.pdf>
- [117] OECD Report 2016: *Finns score # 1 in Europe in literacy skills*.  
<https://www.businessfinland.fi/en/do-business-with-finland/invest-in-finland/invest-in-finland>
- [118] *Rapport québécois du Programme pour l'évaluation internationale des compétences des adultes (PEICA)*. (2015) Institut de la statistique du Québec.  
<https://statistique.quebec.ca/fr/enquetes/utilisees/programme-evaluation-internationale-competences-adultes-peica-statistique-canada>
- [119] Roser, M. and Ortiz-Ospina, E. (2016) *Literacy*. Published online at OurWorldInData.org.  
<https://ourworldindata.org/literacy>
- [120] Cohen, D., Clapperton, I., Gref, P., Tremblay, Y. (1999) *Déficit d'attention/hyperactivité, Perceptions des acteurs et utilisation de psychostimulants*, Régie Régionale de la Santé et Services Sociaux (RRSSS) de Laval, Canada.  
<http://www.santecom.qc.ca/Bibliothequevirtuelle/santecom/35567000024221.pdf>
- [121] Doré, C. and Cohen, D. (1997) *La prescription de stimulants aux enfants "hyperactifs"*. Santé mentale au Québec, 22. 216-328. DOI: 10.7202/502104ar.  
<https://www.erudit.org/fr/revues/smq/1997-v22-n1-smq2304/502104ar.pdf>
- [122] *Diagnosis and Treatment of Attention Deficit Hyperactivity Disorder (1998)*. National Institutes of Health Consensus Statement.  
<https://consensus.nih.gov/1998/1998AttentionDeficitHyperactivityDisorder110html.htm>
- [123] Swanson, J.M., McBurnet, K., Wigal, T., Pfiffner, L.J., Lerner, M.A., et al. (1993). Effect of stimulant medication on children with Attention Deficit Disorder: A "Review of Reviews.". *Exceptional Children*, 60: 154-162.  
<http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED363086.pdf>
- [124] Mercure, P. (2015) *Ritalin: la consommation atteint des records au Québec*. La Presse (lapresse.ca). (09 mars 2015).  
<https://www.lapresse.ca/actualites/sante/201503/08/01-4850438-ritalin-la-consommation-atteint-des-records-au-quebec.php>
- [125] Michaud, A. [2022] *Demystifying the Lorentz Force Equation*. *Journal of Modern Physics*, Vol.13 No.5, May 2022, 776-838 DOI:10.4236/jmp.2022.135046.  
<https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=117536>

- [126] Rousseau, P. (1941) De l'atome à l'étoile, Presses Universitaires de France. Que sais-je? No. 2. France.
- [127] Rousseau, P. (1941) La lumière, Presses Universitaires de France. Que sais-je? No. 48. France.
- [128] Biémont É. (1996) La lumière, Presses Universitaires de France. Que sais-je? No. 48. France.
- [129] Michaud, A. (2007) Field Equations for Localized Photons and Relativistic Field Equations for Localized Moving Massive Particles. International IFNA-ANS Journal, No. 2 (28), Vol. 13, 2007, pp. 123-140, Kazan State University, Kazan, Russia.  
[https://www.researchgate.net/publication/282646291\\_Field\\_Equations\\_for\\_Localized\\_Photons\\_and\\_Relativistic\\_Field\\_Equations\\_for\\_Localized\\_Moving\\_Massive\\_Particles](https://www.researchgate.net/publication/282646291_Field_Equations_for_Localized_Photons_and_Relativistic_Field_Equations_for_Localized_Moving_Massive_Particles)
- [130] Marmet, P. (2003) Fundamental Nature of Relativistic Mass and Magnetic Fields. International IFNA-ANS Journal, No. 3 (19), Vol. 9. Kazan State University.  
<http://www.newtonphysics.on.ca/magnetic/index.html>
- [131] Marmet, P. and Kerwin, L. (1987) An Improved Electrostatic Electron Selector. Citation Classics, a) Engineering, Technology and Applied Sciences 18, 20 (1987), b) Physical, Chemical and Earth Sciences 18, 20 (1987)  
<https://cdnsiencepub.com/doi/pdf/10.1139/p60-084>
- [132] Dubois, E. (1915) Pithecanthropus Erectus. Eine menschen-aehnliche Uebergangsform aus Java. New York. G.E. Stechert (Alfred Hafner).
- [133] Pais, A. (2008) Subtle is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein. Oxford University Press. 2008.
- [134] Resnick R. & Halliday D. (1967). Physics. John Wiley & Sons, New York.
- [135] Gerbet, T. (2022) Des employés des Francos se plaignent de devoir utiliser l'anglais au travail. Radio-Canada.  
<https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1891188/francofolies-montreal-festival-langue-evenko-spectra-live-nation>