

NEUROPSYCHOLOGIE

Les mécanismes de l'apprentissage

Modèle et applications

Jean-Pierre Rossi



de boeck  solal

Collection Neuropsychologie

Les mécanismes de l'apprentissage

Modèle et applications

Jean-Pierre Rossi

De Boeck-Solal
47, rue d'Enghien
75010 Paris
Tél. : 01.72.36.41.60

Pour toute information sur notre fonds et les nouveautés dans votre domaine
de spécialisation, consultez notre site web :

www.deboeck.fr

© De Boeck Supérieur SA, 2014
Fond Jean-Pâques 4, B1348 Louvain-la-Neuve

Tous droits réservés pour tous pays.

Il est interdit, sauf accord préalable et écrit de l'éditeur, de reproduire (notamment par photocopie) partiellement ou totalement le présent ouvrage, de le stocker dans une banque de données ou de le communiquer au public, sous quelque forme ou de quelque manière que ce soit.

Imprimé en Belgique

Dépôt légal :
Bibliothèque nationale, Paris : septembre 2014
ISBN : 978-2-35327-284-6

Je dédie cet ouvrage à tous les paumés, à tous ceux que la société rejette, à ceux
que la vie a cassés, à ceux qui ne savent où aller, à tous les immigrés,
à tous les précaires, à tous les stigmatisés.

Sommaire

Introduction	1
Chapitre 1. Les bases neuronales de l'apprentissage.....	5
Chapitre 2. La modélisation de l'apprentissage par les systèmes connexionnistes.....	15
Chapitre 3. Apprentissages moteurs ou intellectuels, apprentissage de contenus ou de structures.....	25
Chapitre 4. Les modalités d'apprentissage, ou comment nous apprenons	43
Chapitre 5. L'évolution des apprentissages	57
Chapitre 6. Conditions d'efficacité des apprentissages	69
Chapitre 7. Origine des difficultés d'apprentissage	97
Chapitre 8. Les conditionnements.....	111
Chapitre 9. Vieillesse et apprentissages.....	123
Bibliographie.....	147

Introduction

Du lombric à l'homme, la survie de tout être vivant dépend de ses capacités d'apprentissage. Les êtres les plus primitifs sont capables d'apprendre, de s'adapter à leur environnement. Cette capacité est tellement évidente que, plus ou moins intuitivement, on croit savoir ce qu'apprendre veut dire. Tout apprentissage aboutit à l'acquisition ou la modification de comportements, de savoirs, de connaissances ou de croyances imputables aux interactions avec l'environnement. Les acquisitions et modifications dues à l'apprentissage ne doivent pas être confondues avec celles imputables à des facteurs tels que le vieillissement ou la maturation biologique, cette dernière n'étant pas toujours indépendante de la mise en œuvre des mêmes apprentissages.

Soulignons que si les modifications se traduisent généralement par des améliorations, un apprentissage peut interférer avec un autre et entraîner, si ce n'est des régressions, du moins des perturbations dans les comportements ou les connaissances antérieures. De telles régressions et perturbations ne sont pas exceptionnelles.

La ou les modification(s) et acquisition(s) peuvent concerner des savoir-faire tant moteurs, sensori-moteurs (j'apprends à ajuster mes mouvements pour saisir un objet), intellectuels et cognitifs (j'apprends à lire), que des connaissances (j'apprends une langue, j'apprends l'algèbre) ou des croyances. Les apprentissages sont aussi variés dans leurs contenus que dans leurs modalités et leurs évolutions.

L'origine même des apprentissages est multiple. La perception en est évidemment une source essentielle. J'apprends en voyant, en écoutant, en sentant, en tâtant, en goûtant, etc. J'apprends par l'action : j'apprends à conduire, à lire, j'apprends les propriétés des objets en les manipulant. La transmission sociale est également une source d'apprentissage : j'apprends à me conduire en public, à dialoguer. Face à ces différentes sources, à ces différentes formes et modalités d'apprentissage, on peut s'interroger sur l'existence de règles communes. Ce sont ces règles qui vont être décrites dans cet ouvrage, qui s'attachera à montrer la singularité de chaque apprentissage.

Si les premières études sur l'apprentissage ont été marquées par des recherches portant essentiellement sur l'animal, à la fin du XX^e siècle et au

début du XXI^e, l'apprentissage humain a retrouvé sa place en psychologie. Sans faire abstraction des études de psychologie animale, le but de ce travail est de faire le point sur nos connaissances de l'apprentissage humain en explicitant, chaque fois que cela est possible, les composantes qui sont susceptibles aussi bien de le faciliter que de le gêner.

Dès le premier chapitre, les bases neuronales de l'apprentissage sont décrites. Elles constituent un cadre d'interprétation et de compréhension de l'ensemble des processus qui sont détaillés dans la suite de l'ouvrage. Les systèmes sensoriels sont présentés comme des centrales électriques qui produisent des influx nerveux se propageant le long des neurones. Les modèles connexionnistes qui permettent de simuler les apprentissages sont décrits dans le second chapitre. Le troisième chapitre est consacré à la présentation des différentes catégories d'apprentissage : apprentissage de savoir-faire ou de contenus, moteurs, sensori-moteurs ou intellectuels, apprentissage de règles et de schémas cognitifs. Ce chapitre est suivi (chapitre 4) de l'analyse des modalités d'apprentissage : apprentissages intentionnels et incidents, verbaux et non verbalisables, en un seul ou en plusieurs essais, par compréhension ou par répétition. À la fin de ce chapitre, les apprentissages élémentaires sont opposés aux apprentissages complexes. Dans le chapitre 5, les différentes possibilités d'évolution des apprentissages sont décrites : évolutions continues, par stades, et périodes critiques. Les conditions d'efficacité des apprentissages sont présentées dans le chapitre 6. Les facteurs généraux tels que la motivation, l'attention, la compréhension et les transferts d'apprentissages sont opposés à la progressivité, l'ordre, la répartition dans le temps, la connaissance des résultats, les récompenses et punitions, mais aussi à l'analyse des erreurs. En revanche, les difficultés d'apprentissage et les facteurs susceptibles de le gêner ou de le ralentir sont analysés dans le chapitre 7. La dialectique maturation-apprentissage, le rôle des attentes, des interférences et des conflits entre apprentissages, ainsi que le cas particulier de la formation des adultes, sont aussi traités. Les apprentissages de base que sont les conditionnements sont présentés dans le chapitre 8, dont une partie est consacrée à leurs applications pratiques. Enfin, dans le dernier chapitre, les effets du vieillissement sur les apprentissages sont détaillés : description des effets du vieillissement sur le cerveau et sur les activités cognitives.

L'effort de simplification auquel on s'est astreint tout au long de ce texte doit permettre à tout un chacun de comprendre ce qu'est l'apprentissage et d'intégrer cette connaissance dans son comportement quotidien.

La première question que l'on est en droit de se poser est de savoir ce que tout apprentissage change dans notre cerveau : en quoi notre cerveau est-il modifié par un apprentissage ? Cette question a interrogé des générations de chercheurs biologistes et psychologues. Très rapidement, il a été admis que l'apprentissage entraînait des modifications dans le cerveau. Plusieurs d'entre

elles ont fait l'objet de recherches : variations des poids et des surfaces de tout ou partie du cerveau, modifications de son organisation, variations biochimiques de ses constituants. Dans les années 80, on a même pensé pouvoir transférer un apprentissage d'un animal à l'autre par simple transfert d'ADN. On conditionnait des planaires, puis on extrayait l'ARN ou l'ADN de leur cerveau, que l'on injectait à des animaux qui n'avaient rien appris afin de déterminer si ce transfert facilitait les apprentissages. Après des années de recherches, on commence maintenant à avoir un début de réponse à toutes ces questions. Ou plutôt on commence à identifier les modifications du cerveau imputables à des apprentissages.

Chapitre 1

Les bases neuronales de l'apprentissage

L'hypothèse la plus étudiée actuellement affirme qu'apprendre consiste à créer dans le cerveau un réseau électrique. Chaque système sensoriel est une centrale électrique qui produit un influx nerveux, c'est-à-dire un courant électrique qui se propage dans les hémisphères cérébraux. Le cerveau va traiter et gérer ce flux nerveux en organisant des circuits qui garderont la trace des apprentissages. Rappelons rapidement comment les systèmes sensoriels produisent un influx nerveux, comment cet influx est traité par le cerveau et comment les apprentissages modifient les circuits neuronaux.

1. Les systèmes sensoriels sont des centrales électriques

Les modalités selon lesquelles les systèmes sensoriels transforment les stimulations physiques ou chimiques en courants électriques sont illustrées à partir de l'exemple de la perception visuelle et de la perception auditive, mais il en est de même pour les autres sens : odorat, toucher, kinesthésie...

1.1. La perception visuelle

La lumière est constituée de photons portés par des ondes. La concentration des photons détermine l'intensité lumineuse, tandis que la couleur est donnée par la longueur d'onde. Pour les êtres humains, le spectre visible s'étend de 380 nanomètres (violet) à 700 nanomètres (rouge). La zone visible va des ultraviolets aux infrarouges. Comme indiqué sur la *figure 1.1*, ne sont pas

visibles les longueurs d'onde supérieures à 700 nanomètres, telles que les ondes radios, ou les inférieures à 380 nanomètres, comme celles qui sont utilisées en radioscopie.

Les photopigments qui tapissent la rétine et qui sont contenus dans les cônes et les bâtonnets sont décomposés par la lumière. Cette décomposition est à l'origine d'un influx nerveux qui, après plusieurs relais, va aboutir dans le cortex.

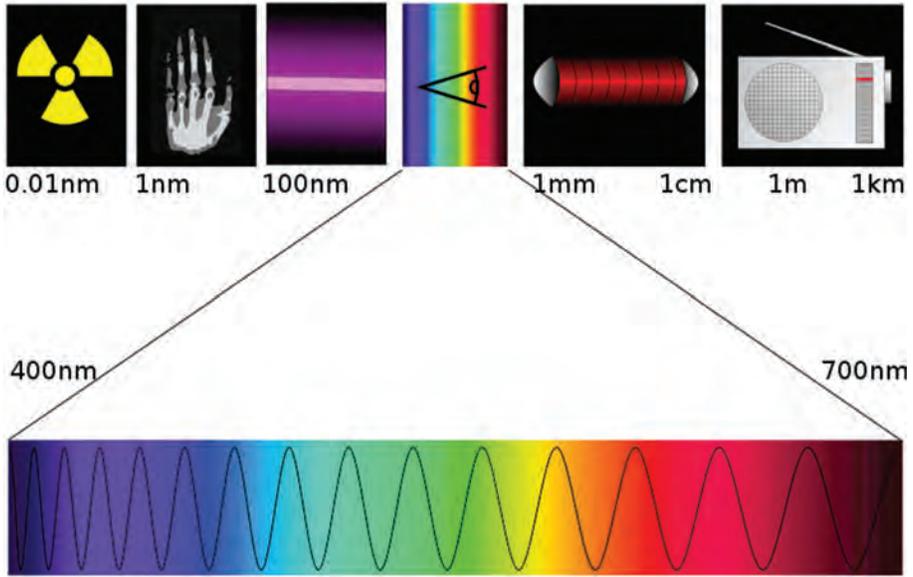


Figure 1.1. Spectre visible par les humains. Violet (380-435) ; indigo (465-482) ; bleu (487-492) ; azur (560-575) ; cyan (590-620) ; vert (435-465) ; chartreuse (482-487) ; jaune (492-560) ; orange (575-590) ; rouge (620-700)

Les bâtonnets (environ 130 millions) absents au centre de la rétine sont concentrés en périphérie (*figure 1.2*). Ils sont responsables de la vision dans l'obscurité, ils sont peu sensibles aux détails et à la couleur. Ils contiennent de la rhodopsine (ou pourpre visuel), qui sous l'effet de la lumière est décomposée en opsine et rétinol. Cette décomposition génère un influx nerveux.

Les cônes concentrés au centre de la rétine (5 à 7 millions) sont responsables de la vision des détails et de la couleur (*figure 1.2*). Ils se différencient en fonction du type de photo-pigments qu'ils contiennent. Pour certains photopigments l'absorption est maximale dans le bleu (entre 445 et 447 nanomètres), tandis que d'autres sont sensibles au vert (535-340 nm) et d'autres le sont au rouge (570-577 nm). La décomposition des photo-pigments est à l'origine d'un influx nerveux qui va se propager jusqu'au cerveau.

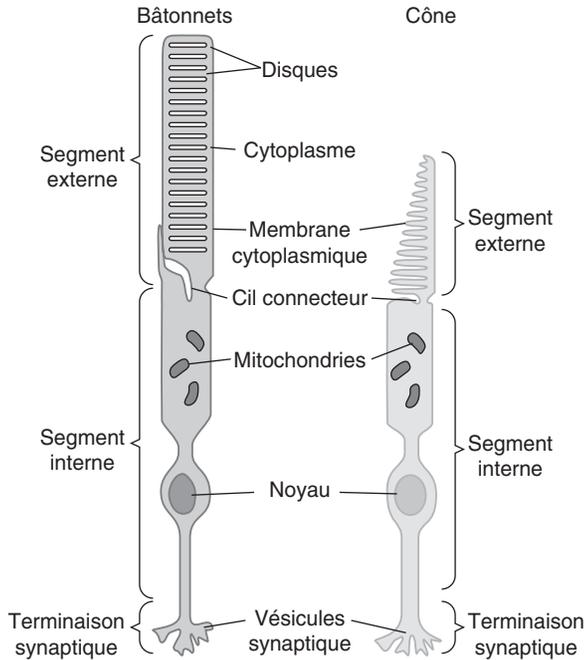


Figure 1.2. Représentation d'un bâtonnet et d'un cône

Comme indiqué sur la *figure 1.3*, la densité des cônes est forte au centre de la rétine, tandis que les bâtonnets sont nombreux en périphérie. Cette répartition a une conséquence directe : l'acuité visuelle est maximale au centre de la rétine ; pour lire, pour explorer avec précision un objet ou une image, on regarde donc avec la fovéa.

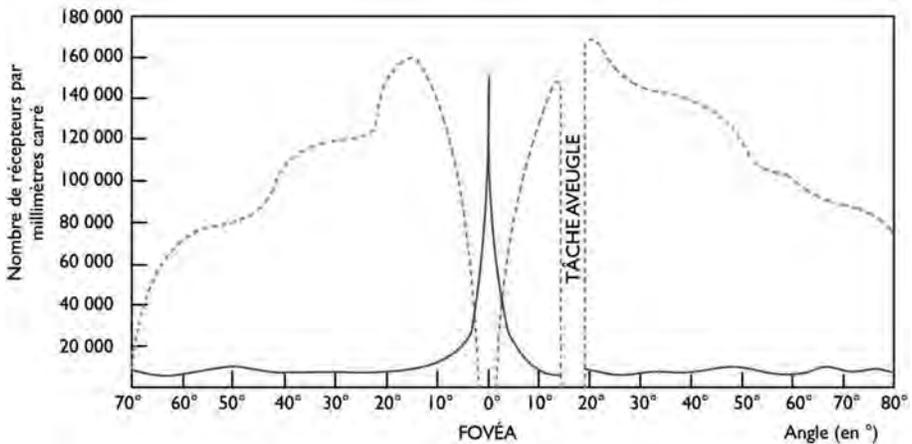


Figure 1.3. Répartition des cônes et des bâtonnets dans la rétine

Schématiquement, pour l'ensemble des systèmes sensoriels, l'influx nerveux commence par relayer dans les noyaux thalamiques, qui ont pour fonction principale de gérer l'éveil cortical, puis se projette successivement dans les cortex sensoriels primaires, secondaires et associatifs. Comme indiqué sur la *figure 1.4*, les aires primaires, secondaires et associatives correspondant à chaque système sensoriel sont représentées sur le cortex. Pour chacune d'entre elles, l'influx nerveux parcourt un réseau constitué de plusieurs neurones. Ces réseaux traitent l'information et, le cas échéant, la stocke. Ce qui est vrai pour la vision l'est pour les autres sens, et en particulier pour l'audition.

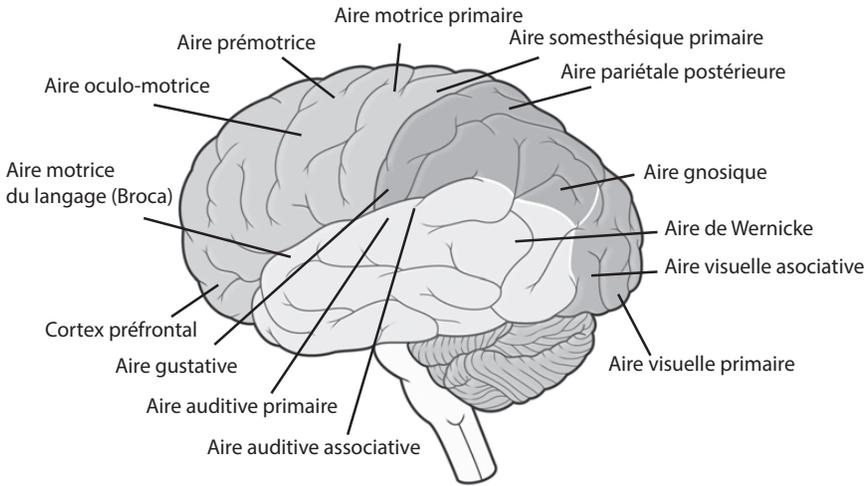


Figure 1.4. Représentation corticale des aires primaires, secondaires et associatives correspondant aux différents sens

1.2. La perception auditive

Le spectre sonore des humains s'étend de 20 Hz à 20 kHz. La longueur d'onde définit la tonalité : les graves (20 à 150 Hz), les médiums (150 Hz à 2 kHz) et les aigus (2 kHz à 20 kHz). Les fréquences inférieures (infrasons) et supérieures (ultrasons) ne sont pas audibles. Les spectres audibles varient d'une espèce animale à l'autre, ainsi les éléphants communiquent à plusieurs kilomètres de distance au moyen d'infrasons.

L'intensité est définie par la pression et mesurée en décibels. L'intensité pour laquelle un son est audible varie selon sa fréquence. Sur les audiogrammes, ces intensités sont normalisées. Comme indiqué sur la *figure 1.5*, le vieillissement affecte préférentiellement les sons aigus qui sont progressivement altérés. Ces pertes auditives sont imputables au fonctionnement de l'organe de Corti. En effet, les vibrations sonores sont transmises à l'organe de Corti (*figure 1.6*) qui est constitué d'une membrane reposant sur des cellules ciliées. Selon l'intensité sonore, la vibration est plus ou moins ample, et

donc la pression sur les cils plus ou moins forte. Les sons graves font vibrer la quasi-totalité de la membrane, tandis que les aigus n'en font vibrer qu'une petite partie. C'est ce qui explique qu'avec l'âge, la perception des sons aigus est altérée. Les cellules ciliées transforment les pressions qui s'exercent sur elles en influx nerveux qui se propage le long du nerf auditif jusqu'au cerveau.

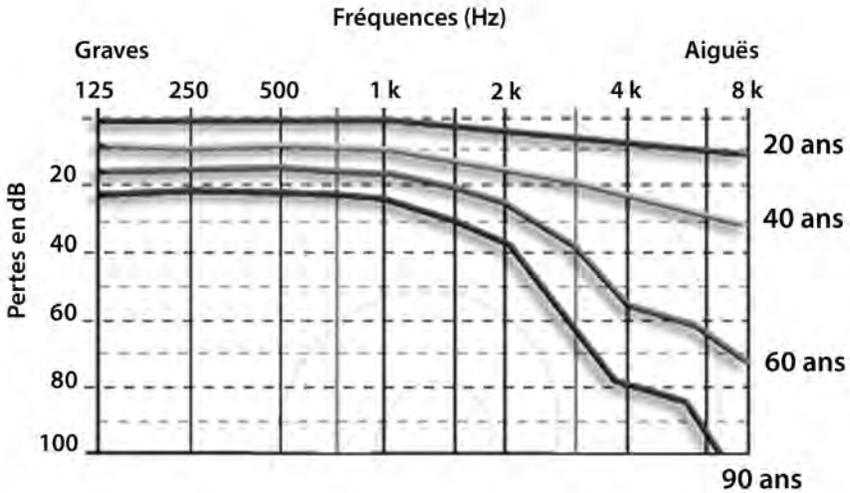


Figure 1.5. Audiogramme en fonction de l'âge

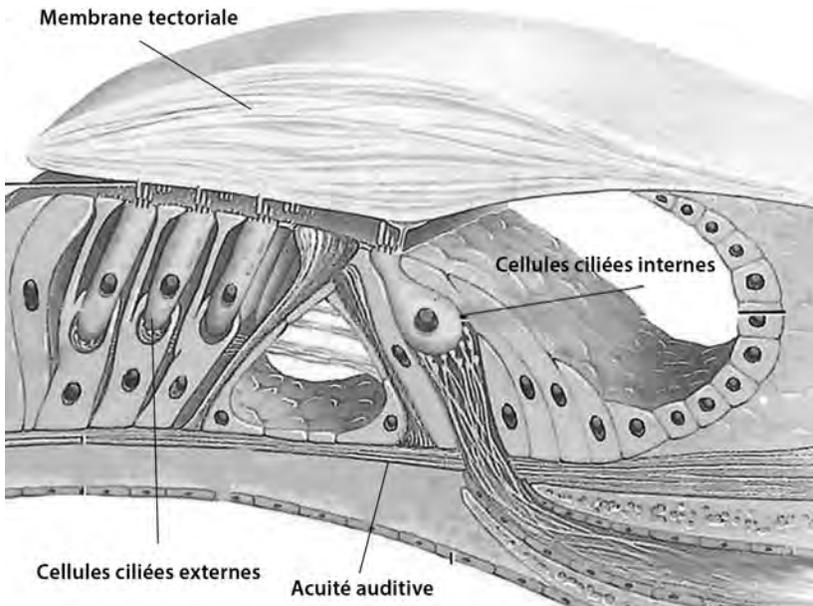


Figure 1.6. Représentation de l'organe de Corti

Pour tous les sens, les récepteurs sensoriels transforment les stimulations physiques, mécaniques ou chimiques en influx nerveux qui sont propagés jusqu'au cerveau. Chaque partie du cerveau est spécialisée dans le traitement d'une catégorie d'information.

2. Spécialisation des différentes parties du cerveau¹

Sur la *figure 1.6* sont représentées les spécialisations corticales du cerveau gauche. On y observe des zones spécialisées dans le traitement de la vision, de l'audition, du goût, des sensations somesthésiques, de la motricité (*figure 1.7*).

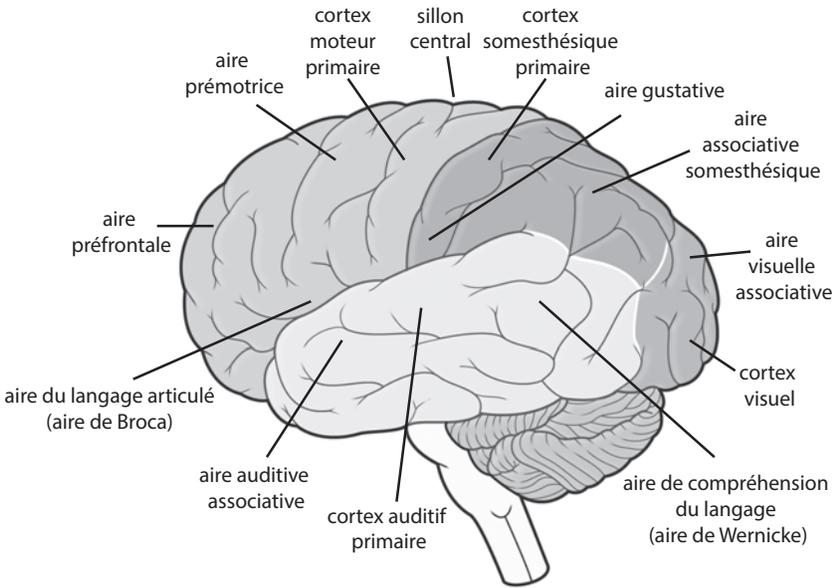


Figure 1.7. Spécialisation corticale (cerveau gauche)

La spécialisation corticale est particulièrement illustrée sur la *figure 1.8*, où l'on observe que chaque partie du corps est représentée, d'un côté pour le traitement de la sensibilité, de l'autre pour celui de la motricité. La partie du corps est d'autant plus représentée sur le cortex que la sensibilité est fine ou la motricité importante. On observe ainsi pour la motricité l'importance de la

¹ Pour les problèmes de vocabulaire on peut consulter l'ouvrage édité en 1997 chez Vuibert et intitulé *Le cerveau : dictionnaire encyclopédique* publié sous la direction de Nicole Aimé-Genty.

surface qui est affectée à la bouche et aux mains, alors que les autres parties du corps occupent proportionnellement moins de place. Le cerveau est le lieu de nombreux traitements.

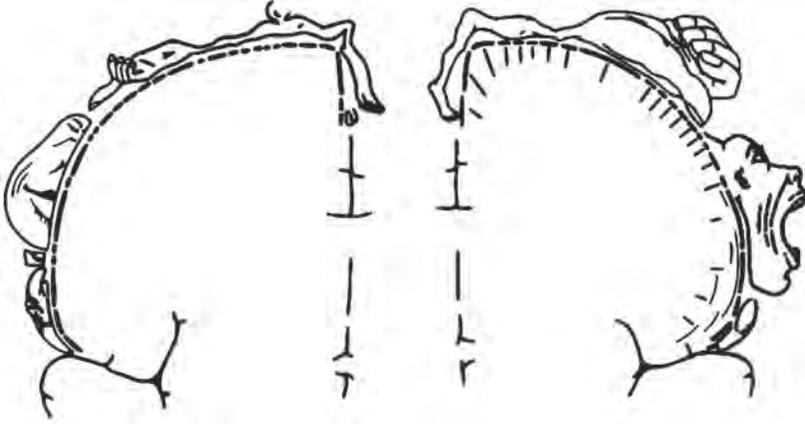


Figure 1.8. Homonculus correspondant à la sensation (à gauche) et à la motricité (à droite)

3. Le cerveau est constitué de quelques milliards de neurones

Pour traiter les informations qui lui sont transmises, le cerveau dispose de quelques milliards de cellules nerveuses appelées neurones.

3.1. Description des neurones

Les neurones sont constitués d'un corps cellulaire, d'un axone et de dendrites (figure 1.9). L'influx nerveux arrive par l'axone et se propage dans les autres neurones par les dendrites. Les zones de contact entre les neurones sont des synapses.

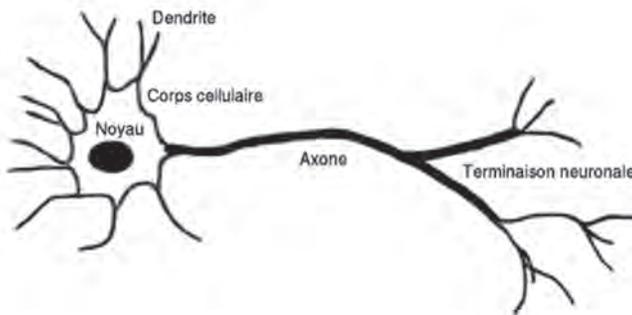


Figure 1.9. Représentation schématique d'un neurone

3.2. La synapse : zone de contact entre deux neurones

La synapse est la zone de contact entre neurones ou entre un neurone et une autre cellule, par exemple une cellule musculaire (*figure 1.10*). Ces contacts sont nombreux, puisqu'on estime qu'ils couvrent environ 40 % de la membrane cellulaire. La transmission de l'influx nerveux d'un neurone à l'autre se fait soit électriquement, soit, dans la grande majorité des cas, chimiquement. Dans ce cas, l'extrémité du neurone pré-synaptique est équipée de vésicules contenant des neurotransmetteurs qui sont libérés par l'influx nerveux. Ces neurotransmetteurs vont stimuler des récepteurs contenus dans le neurone post-synaptique. Ces récepteurs vont à leur tour être à l'origine d'un nouvel influx nerveux, qui va se propager dans d'autres neurones, et ainsi de suite.

Les synapses jouent un rôle déterminant dans la propagation de l'influx nerveux, puisqu'elles peuvent le moduler de différentes façons : augmenter, sommer, diminuer, stopper ou même déterminer des processus d'inhibition. Les types de synapses et leur nombre déterminent les caractéristiques du circuit électrique qui est parcouru.

De nouvelles synapses peuvent être créées, tandis que d'autres sont supprimées ou simplement modifiées. Les apprentissages vont être à l'origine de l'ensemble de ces transformations : création et modification des synapses ; gestion de la transmission de l'influx nerveux (augmentation, diminution, inhibition...). Ainsi, chaque neurone est couvert d'un ensemble de synapses excitatrices et inhibitrices. L'amplitude et la fréquence des courants électriques qui se propagent codent l'information qui est traitée. La variété des neurotransmetteurs et des récepteurs permet l'existence simultanée de plusieurs événements au niveau d'une même synapse. Drogues et médicaments peuvent avoir un effet sur la transmission des neuromédiateurs allant jusqu'à modifier la réceptivité des synapses : effets d'accoutumance et de dépendance.

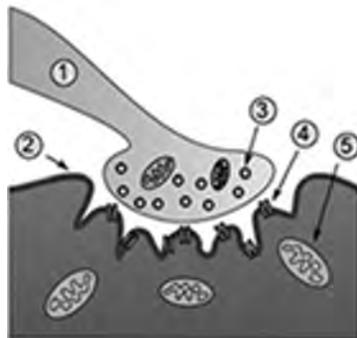


Figure 1.10. Représentation d'une synapse : 1) élément pré-synaptique ; 2) élément post-synaptique ; 3) vésicules synaptiques ; 4) récepteurs ; 5) mitochondries.

3.3. Le codage biologique de l'apprentissage : la plasticité synaptique

L'apprentissage a, entre autres, pour effet de modifier l'activité synaptique. On a vu qu'un courant électrique nommé potentiel d'action se propage le long de l'axone d'un neurone. Au niveau de chaque synapse, le potentiel d'action varie en amplitude, en fréquence et en durée. Le signal post-synaptique dépend :

- de la libération des neuromédiateurs pré-synaptiques (quantité, fréquence, durée, nature) ;
- des propriétés de la fente synaptique ;
- des propriétés de la membrane post-synaptique ;
- du type, du nombre, de la nature et de la sensibilité des récepteurs.

On appelle plasticité synaptique les modifications de la propagation de l'influx nerveux dues à l'apprentissage. Les effets de l'apprentissage peuvent se situer aussi bien au niveau pré- et post-synaptique qu'au niveau de la fente synaptique. Certaines variations sont imputables aux types de neurones qui possèdent non seulement des propriétés spécifiques, mais réagissent en fonction de leur environnement, c'est-à-dire en fonction des cellules inter-neuronales. Ainsi, certains neurones sont susceptibles de modifier l'influx nerveux qu'ils reçoivent (effets récurrents). De plus, des processus de synchronisation augmentent l'efficacité de la transmission, tandis que des neurones modulateurs agissent directement sur la synapse. Enfin, on ne saurait oublier que l'apprentissage peut aussi avoir pour effet de créer de nouvelles synapses. C'est dire la variété des effets de l'apprentissage sur l'organisation des réseaux neuronaux et la propagation de l'influx, alors même que l'on considère actuellement que tous les effets de l'apprentissage ne sont toujours pas connus.

Dans leur étude de l'apprentissage animal, les biologistes se sont particulièrement intéressés aux phénomènes d'habituation, de potentialisation et de sensibilisation. **L'habituation** correspond à une diminution du signal due à la répétition. Il a été mis en évidence que lorsqu'un signal est répétitif, l'influx nerveux qu'il provoque diminue tant en fréquence qu'en amplitude. Cela se manifeste par une diminution du nombre de vésicules, du nombre de synapses, ainsi que par une perte de contact. À l'opposée, **la potentialisation** est une augmentation de l'amplitude de la réponse post-synaptique généralement provoquée par une stimulation forte souvent nociceptive. Elle n'est possible que sur certains neurones. **La sensibilisation** quant à elle se traduit par la création de nouvelles synapses.

En résumé, compte tenu des connaissances actuelles, on peut considérer que l'apprentissage peut avoir pour effet :

- 1) d'augmenter le nombre de synapses ;
- 2) d'affecter la libération des neuromédiateurs : nature, quantité, durée, fréquence ;

- 3) de modifier la fente synaptique ;
- 4) d'accroître le nombre de neurorécepteurs post-synaptiques ;
- 5) de faire varier la sensibilité de ces mêmes neurorécepteurs.

Les modélisations du fonctionnement du cerveau, et plus généralement du système nerveux central, se sont développées avec l'essor de l'informatique. Les systèmes connexionnistes ou réseaux de neurones sont une première tentative qui présente l'intérêt de simuler les apprentissages au moyen d'un système présentant quelques analogies avec le fonctionnement du cerveau. La description de ces systèmes permet d'illustrer de façon simplifiée les mécanismes de l'apprentissage et d'explorer ses possibilités et limites.

Chapitre 2

La modélisation de l'apprentissage par les systèmes connexionnistes

Les modélisations connexionnistes ou réseaux de neurones sont des systèmes informatiques constitués d'unités élémentaires (ou neurones formels) organisés en réseaux. Leur analogie avec le cerveau en fait un outil de modélisation intéressant des processus cognitifs, et particulièrement de l'apprentissage, puisque, comme le cerveau, ces systèmes sont capables d'apprentissage. Le lecteur doit pourtant être prévenu que, malgré ces analogies et l'ambiguïté entretenue par l'appellation « réseaux de neurones », les modèles connexionnistes sont loin d'avoir les capacités du cerveau humain qui, il faut s'en souvenir, contient environ dix milliards de neurones, chacun d'entre eux possédant quelques milliers de connexions. Même si les capacités de calcul des ordinateurs dépassent de loin les aptitudes des êtres humains, leurs capacités à résoudre des problèmes complexes aux données floues restent encore très limitées, de sorte que les simulations actuelles paraissent bien modestes en regard des possibilités du cerveau.

1. Principales propriétés des systèmes connexionnistes

L'organisation en réseaux d'unités élémentaires confère aux systèmes connexionnistes cinq propriétés qui intéressent les spécialistes de l'apprentissage :

- **La propagation d'activations et d'inhibitions** tout au long du parcours, depuis le codage de l'information jusqu'à la réalisation de réponses tant motrices qu'intellectuelles.

- **L'existence de couches comportant plusieurs réseaux permet le développement de traitements en parallèle.** Les réseaux peuvent ainsi traiter simultanément différentes catégories de données ou les mêmes données à différents niveaux. Pour illustrer l'intérêt de cette propriété, on peut prendre l'exemple de la lecture. Selon la familiarité du mot et la netteté du graphisme, le mot peut être traité soit lettre par lettre, lorsque le mot lu est nouveau, soit syllabe par syllabe, soit, lorsque le mot est fréquent, à partir de caractéristiques globales, en utilisant le cas échéant le contexte pour deviner et compléter les lettres qui sont masquées et non identifiables. Ces différents niveaux de traitement peuvent opérer simultanément et coopérer pour permettre l'identification du mot.
- **Les calculs et les traitements peuvent être distribués.** Cette propriété complète et précise la précédente; elle correspond au fait que les traitements peuvent être répartis en différents lieux et opérer simultanément. Les données obtenues au moyen des techniques d'imagerie cérébrale confirment que, lors du traitement du langage, plusieurs zones du cerveau sont activées simultanément. Ainsi, lors de la lecture, pourront être activées simultanément des zones du cerveau aussi différentes que le cortex associatif visuel, les zones impliquées dans l'articulation, ainsi que celles dans lesquelles les sens sont stockés.
- **Les capacités d'apprentissage :** le réseau apprend et s'adapte aux nouvelles stimulations. Cela signifie concrètement que le réseau conserve la trace de ses expériences. Plusieurs systèmes d'apprentissage sont actuellement testés, le plus simple correspond à la loi de Hebb, qui spécifie que si des événements ont été simultanés et si leur cooccurrence se répète, les connexions entre les unités qui les représentent sont renforcées, de sorte que l'activation de l'une d'entre elles aura pour effet l'activation des autres.
- **La capacité de catégoriser :** le réseau est capable de classer les stimuli et de créer des catégories. C'est évidemment une propriété fondamentale particulièrement utile lors de l'apprentissage du langage. Elle nous permet d'appeler « chaise » des objets ayant des formes différentes, c'est-à-dire de considérer comme équivalents des objets apparemment différents, mais possédant des propriétés similaires. Constituer des catégories est sans doute une des propriétés fondamentales du système cognitif.

Cette énumération montre que les réseaux de neurones sont des outils puissants de modélisation du système cognitif. Soulignons pourtant qu'ils s'opposent aux systèmes symboliques puisqu'ils sont constitués, non pas de symboles, mais d'éléments simples qui sont interconnectés. Le principe de la propagation de l'influx qui, par cascades, va activer les unités interconnectées concrétise le principe à l'origine des théories associationnistes développées par les psychologues dans les années 60 : l'activation d'une représentation mentale

Bibliographie

- Adam, S. (2010). Les capacités cognitives et leur évolution, Centre d'analyse stratégique, Actes du séminaire *Le vieillissement cognitif*.
- Baddeley, A. (1992). *La mémoire humaine, théorie et pratique*, Presses Universitaires de Grenoble : Grenoble.
- Campion, N., Rossi, J. P. (2001). Associative and causal constraints in the process of generating predictive inference, *Discourse Process*, 99, 493-527.
- Cherry, K. E., Stadler, M. A. (1995). Implicit learning of non verbal sequence in younger and older adults, *Psychology and aging*, 10, 379-394.
- Christian, G. (1983). *Apprendre par l'action*, Presses Universitaires de France : Paris.
- Crawford, D. L (2004). The Role of Aging in Adult Learning: Implications for Instructors in Higher Education, *New Horizons for Learning*.
- Doron, R., Parot, F. (1991). *Dictionnaire de psychologie*, Presses Universitaires de France : Paris.
- Elkoe, D. (1992). Le vieillissement du cerveau et de la pensée, *La Science*, 181.
- Fraisse, P. (1963). *Manuel pratique de psychologie expérimentale*, Presses Universitaires de France : Paris.
- Gardiner, J. M. (2000). On the objectivity of subjective experiences and autoeotic and noetic consciousness. In E. Tulving (Ed.), *Memory, consciousness, and the brain : The Tallinn Conference* (pp. 159-172), John Benjamin Publishing Company : Philadelphia.
- Howard, D, V., Howard, J.H.J. (1989). Age differences in learning serial patterns: Direct versus indirect measures, *Psychology and aging*, 4(3), 357-364.
- Howard, D, V., Howard, J.H.J. (1992). Adult age differences in the rate of learning serial patterns: Evidence from direct and indirect tests, *Psychology and aging*, 7(2), 232-241.
- Horn, J. L., Cattell, R.B. (1967). Age differences in fluid and crystallized intelligence, *Acta Psychologica*, 26, 107-129.
- Houde, O., Kayser, D., Koenig, O., Proust, J., Rastier, F. (1967). *Vocabulaire de sciences cognitives*, Presses Universitaires de France : Paris.
- Hull, C. L. (1952). *A behavior System*, Yale University Press: New Haven.
- Korsakoff, S. (1889). Étude médico-psychologique sur une forme des maladies de la mémoire, *Revue philosophique*, 28, 501-530.
- Lautrey, J. (2001). L'évaluation de l'intelligence : état actuel et tentatives de renouvellement. In M. Huteau (Ed.), *Les figures de l'intelligence*. Éditions et Applications Psychologiques : Paris.

- Lemaire, P. (2010). Les capacités cognitives et leur évolution », Centre d'analyse stratégique Actes du séminaire *Le vieillissement cognitif*.
- Lemaire, P., Bherer, L. (2005). *Psychologie du vieillissement : une perspective cognitive*, De Boeck : Bruxelles.
- Léon, A. (1972). La motivation chez les élèves de l'enseignement technique, *Psychologie scolaire*, 9, 78.
- Mandler, J. M. (2004). *The foundations of mind*, University Press: Oxford.
- Mandler, J. M., McDonough, L. (1998). On developing a knowledge base in infancy, *Developmental Psychology*, 34, 1274-1288.
- Mareschal, D., French, R. M., Quinn, P. (2000). A connectionist account of asymmetric category learning in early infancy, *Developmental Psychology*, 36, 635-645.
- Neisser, U. (1967). *Cognitive psychology*, Appleton-Century-Croft: New-York.
- Nuttin, J. (1990). *Théorie de la motivation humaine*, Presses Universitaires de France : Paris.
- Maslow, A. (1943). Theory of human motivation, *Psychological review*, 50, 370-369.
- Neisser, U. (1967). *Cognitive Psychology*, Appleton-Century-Crofts: New-York.
- Piaget, J. (1964). *La Psychologie de l'intelligence*, Armand Colin : Paris.
- Piaget, J., Inhelder, B (1966). *La psychologie de l'enfant*, Presses Universitaires de France : Paris.
- Premack, D. (1971). Two sides of generalization, or catching up with commonsense: reinforcement of punishment. In R. Glasser (Ed.), *The nature of reinforcement*, Academic Press: New-York.
- Quinn, P. C., Eimas, P. D. (2000). The emergence of category representations during infancy: Are separate perceptual and conceptual conceptual processes required?, *Journal of cognition and development*, 1, 55-61.
- Quinn, P. C., Johnson, M. H. (2000). Global-before-basic object categorization in connectionist network and 2-month-old enfant, *Infancy*, 1, 31-46.
- Rossi, J. P. (2013). *Psycho-neurologie du langage*, De Boeck-Solal : Paris.
- Rossi, J. P. (2005). *Psychologie de la mémoire*, De Boeck : Bruxelles.
- Rossi, J.P., Ehrlich, M.F. (1987). Reading a text : the effects of typography and cognitive processing on the eye movement strategies. In J.K. O'Regan & A. Lévy-Schoen (Eds.), *Eye movements: from Physiology to Cognition*, pp. 531-539, Elsevier Sciences Publishers BV: Amsterdam.
- Schank, R. C. (1982). *Dynamic memory*, Cambridge University Press: New-York.
- Schank, R. C., Abelson, R. P. (1977). *Scripts, plans and understanding*, N. J., Lawrence Erlbaum Associates: Hillsdale.
- Seligman, M.E.P., Maïer, S.F., Solomon, R.L. (1971). Unpredictable and uncontrollable aversive events. In F.R. Brush (Ed.), *Aversive Conditioning and learning*, Academic Press: New-York.
- Tessier, J. F. (2010). *Effets du vieillissement et du contrôle de la posture sur l'apprentissage d'une tâche motrice*, Université de Laval : Québec.
- Tolman, E. C. (1955). Principles of performance, *Psychological Review*, 62, 315-326.
- Tulving, E. (1955). Elements of episodic memory, *Behav. Brain. Sci.*, 7, 257-268.
- UNESCO (2010). *Rapport sur l'apprentissage des adultes*, Publications de l'UNESCO : Paris.
- Zaganczyk, A. (1934). L'effet de la récompense différée sur l'apprentissage, *L'Année psychologique*, 34, 114-158.

Index

A

accommodation 36, 61, 129
analogie 14
apprentissage(s)

- de règles 34, 56
- formel 106
- incident 34, 43, 54, 73, 121
- informel 107
- non formel 106
- par essais et erreurs 50
- complexes 52, 54, 93
- distribués 77
- simple 54, 116
- intellectuels 30, 32, 93
- intentionnels 43, 73
- massés 77
- moteurs 28, 48, 93
- sensori-moteurs 29

assimilation 36, 61
attention 48, 73, 132
attention divisée ou partagée 134
attention soutenue 133
AVC 126

B

bâtonnets 6

C

catégorisation 21, 25, 31
compatibilité 104

conditionnement(s) 53, 111

- classique 111, 119
- d'évitement 119
- instrumentaux 118
- opérants 118

cônes 6

connaissance des résultats 83

connexionnisme 15

D

démences 126

discrimination 61, 108, 117

E

effet de primauté 79

effet de récence 80

empreinte 52, 66

extinction du conditionnement 115

F

formation des adultes 108

G

généralisation 26, 32, 34, 48, 63, 78,
108, 117

gradient de but 81

H

habituatation 13, 53

hémisphères cérébraux 5

I

inférences 20, 40
influx nerveux 5, 8, 11, 18, 125, 128
interférence 55, 81, 103

M

maladie d'Alzheimer 124, 126
maladie de Parkinson 126
maturation 29, 65, 97
mémoire 134

- à court terme 79, 136
- à long terme 80, 138, 140
- de travail 126, 137
- épisodique 126, 138
- explicite 140
- implicite 140
- sémantique 22, 139

MOP 36, 38
motivation 69, 85, 108

N

neurones 11, 123
neurotransmetteurs 12
névrose expérimentale 118
niveau d'aspiration 86

O

organe de Corti 8, 130

P

périodes critiques 66

potentialisation 13
punitions 88

R

récompenses 88
récompense surajoutée 89
réflexe 29, 62, 112
registres de l'information

- sensorielle 135

renforçateur 113, 119
renforcement 112, 114
réseaux de neurones 15

S

savoir-faire 22, 25, 27, 30, 45, 103
scénario 36
schéma cognitif 35
schème 36, 61, 78
script 36
sensori-moteurs 48
stade 30, 60, 78
stimulus conditionnel 112, 117
stimulus inconditionnel 112
synapse 12

T

temps de réaction 57, 105, 144
transferts d'apprentissage 76

V

vieillesse 123, 127, 134, 142
vigilance 132

Table des matières

Introduction	1
---------------------------	----------

Chapitre 1. Les bases neuronales de l'apprentissage.....	5
---	----------

1. Les systèmes sensoriels sont des centrales électriques.....	5
1.1. La perception visuelle.....	5
1.2. La perception auditive.....	8
2. Spécialisation des différentes parties du cerveau.....	10
3. Le cerveau est constitué de quelques milliards de neurones.....	11
3.1. Description des neurones	11
3.2. La synapse : zone de contact entre deux neurones.....	12
3.3. Le codage biologique de l'apprentissage : la plasticité synaptique ..	13

Chapitre 2. La modélisation de l'apprentissage par les systèmes connexionnistes	15
--	-----------

1. Principales propriétés des systèmes connexionnistes.....	15
2. Description des neurones formels.....	17
3. Les connexions.....	19
4. Une architecture constituée de différentes cartes.....	21
5. Un exemple de simulation : le modèle de la mémoire sémantique proposé par Barsalou.....	22
6. Conclusion.....	23

Chapitre 3. Apprentissages moteurs ou intellectuels, apprentissage de contenus ou de structures.....	25
---	-----------

1. Variétés des apprentissages	25
2. Les savoir-faire moteurs et sensori-moteurs.....	27
2.1. Les apprentissages moteurs	28
2.1.1. Description	28
2.1.2. Les apprentissages moteurs : l'exemple de la locomotion	28

- 2.2. Les apprentissages sensori-moteurs 29
 - 2.2.1. Description 29
 - 2.2.2. L'exemple de la préhension manuelle..... 29
- 3. Les apprentissages de savoir-faire intellectuels..... 30
 - 3.1. Description..... 31
 - 3.2. Un exemple d'apprentissage de savoir-faire intellectuel :
la catégorisation..... 31
 - 3.3. Apprentissage de la lecture et activité oculaire 32
- 4. Les apprentissages de règles..... 34
- 5. Apprentissages de schémas cognitifs 34
 - 5.1. La notion de schéma cognitif 35
 - 5.2. Schèmes, scripts, scénarios, plans et MOPs..... 36
 - 5.3. L'utilité des schémas cognitifs..... 39

Chapitre 4. Les modalités d'apprentissage, ou comment nous apprenons 43

- 1. Apprentissages intentionnels et apprentissages incidents 44
- 2. Apprentissages de savoir-faire, de schémas de connaissances
et de contenus 45
- 3. Apprentissages verbalisables vs apprentissages non verbalisables..... 46
- 4. Apprentissage en un seul essai et par répétition..... 47
 - 4.1. Apprentissage en un seul essai 48
 - 4.2. Apprentissage par répétition 48
 - 4.3. Un cas particulier de répétition des essais : l'apprentissage
par essais et erreurs 50
- 5. Effets de la compréhension et de l'analyse des situations
sur les apprentissages..... 51
- 6. Niveaux de complexité des apprentissages..... 52
 - 6.1. Les apprentissages élémentaires : empreinte, habitude,
conditionnements 52
 - 6.1.1. L'empreinte..... 52
 - 6.1.2. L'habitude 53
 - 6.1.3. Les conditionnements..... 53
 - 6.2. Apprentissages complexes : apprentissages symboliques
et verbaux 54

Chapitre 5. L'évolution des apprentissages 57

- 1. Les courbes d'apprentissage 57
- 2. Critères d'apprentissage 58
- 3. Les évolutions continues..... 59
- 4. Apprentissages et stades de développement 60
 - 4.1. La notion de stade 60

4.2. Le développement selon Jean Piaget	61
4.3. Rôle de l'apprentissage dans le développement décrit par Jean Piaget	64
5. Périodes critiques et apprentissage.....	66

Chapitre 6. Conditions d'efficacité des apprentissages69

1. Facteurs généraux	69
1.1. La motivation.....	69
1.2. Rôle de l'attention et de l'identification de ce qui doit être appris	73
1.3. La compréhension facilite l'apprentissage.....	74
1.4. Les transferts d'apprentissage.....	76
2. Procédures et modalités susceptibles de favoriser les apprentissages.....	77
2.1. La répétition.....	77
2.2. Apprentissages distribués <i>versus</i> apprentissages massés.....	77
2.3. Rôle de l'ordre	78
2.4. Le gradient de but	81
2.5. Progressivité des apprentissages	82
3. Effet de l'appréciation des réponses sur les apprentissages.....	83
3.1. La connaissance des résultats	83
3.1.1. Efficacité des différentes conditions et modalités de formulation des connaissances des résultats	83
3.1.2. Effet des délais.....	85
3.1.3. Comment expliquer les effets de la connaissance des résultats sur les apprentissages.....	85
3.1.4. Une limite de la connaissance des résultats : le niveau d'aspiration	86
3.2. La loi de l'effet, récompenses et punitions.....	88
3.2.1. La loi de l'effet	88
3.2.2. Récompenses et punitions.....	89
4. Connaissance des résultats et analyse des erreurs.....	90
4.1. Différentes sources d'erreurs.....	90
4.2. Comment faciliter l'apprentissage et corriger les erreurs.....	92

Chapitre 7. Origine des difficultés d'apprentissage97

1. La dialectique maturation-apprentissage	97
1.1. La notion de maturation	97
1.2. Chronologie et développement.....	100
2. Les effets des apprentissages dépendent des aptitudes et compétences des apprenants.....	101
3. Rôle des attentes et attitudes des apprenants.....	102
4. Les interférences.....	103

- 5. Conflit entre apprentissages : l'exemple de la compatibilité..... 104
- 6. Les apprentissages de l'adulte..... 106
 - 6.1. Cadres et contenus des apprentissages de l'adulte 106
 - 6.2. Caractéristiques des apprentissages des adultes 107

Chapitre 8. Les conditionnements.....111

- 1. Les conditionnements classiques ou pavloviens..... 111
 - 1.1. Description du conditionnement pavlovien 112
 - 1.2. Conditions de formation d'un conditionnement pavlovien..... 113
 - 1.3. Les renforçateurs..... 113
 - 1.4. Extinction du conditionnement..... 115
 - 1.5. Généralisation, discrimination..... 117
 - 1.6. Une névrose expérimentale 118
- 2. Les conditionnements opérants, skinnériens ou apprentissages instrumentaux 118
 - 2.1. Description des conditionnements opérants ou apprentissages instrumentaux 118
 - 2.2. Applications des conditionnements opérants..... 120
- 3. Ce que nous apprennent les études sur les conditionnements..... 121
- 4. Conclusions 121

Chapitre 9. Vieillesse et apprentissages.....123

- 1. Le vieillissement du cerveau..... 123
 - 1.1. Diminution de la masse cérébrale..... 123
 - 1.2. Modifications morphologiques des neurones..... 124
 - 1.3. Modifications biochimiques..... 125
 - 1.4. Différentes pathologies peuvent affecter l'activité cérébrale..... 125
- 2. Vieillesse et apprentissages 127
 - 2.1. Effets du vieillissement sur les capacités sensorielles..... 128
 - 2.1.1. La vision 129
 - 2.1.2. L'audition..... 130
 - 2.1.3. Augmentation des risques de chute 131
 - 2.1.4. Le goût, l'odorat et la sensibilité cutanée..... 131
 - 2.2. Effets du vieillissement sur l'attention 132
 - 2.2.1. La vigilance 132
 - 2.2.2. L'attention soutenue..... 133
 - 2.2.3. L'attention divisée ou partagée 134
 - 2.3. Effets du vieillissement sur les mémoires 134
 - 2.3.1. Les registres de l'information sensorielle 135
 - 2.3.2. La mémoire à court terme 136
 - 2.3.3. La mémoire de travail 137
 - 2.3.4. La mémoire à long terme..... 138

2.4. Vieillessement et raisonnement.....	142
2.5. Effets du vieillissement sur la production des réponses	142
2.5.1. Vieillessement et motricité.....	143
2.5.2. Vieillessement et temps de réaction.....	144
3. Conclusions sur l'effet du vieillissement sur les apprentissages.....	145
Bibliographie.....	147
Index.....	149

L'auteur



Jean-Pierre Rossi est professeur honoraire de psychologie cognitive. Auteur de différentes recherches ayant donné lieu à la publication d'ouvrages et d'articles scientifiques sur la mémoire, la sémantique et la compréhension du langage, il a animé des équipes de recherches dans différents laboratoires du CNRS.

Tout être vivant est capable d'apprentissages. Mais comment le cerveau est-il modifié lorsqu'il apprend ?

C'est la question à laquelle répond Jean-Pierre Rossi qui, se basant sur les modèles neurologiques actuels, décrit les différentes catégories d'apprentissage :

- apprentissage du sens des objets et des mots ;
- apprentissage du langage, des connaissances, des schémas, des règles et des structures logiques ;
- apprentissage des savoir-faire moteurs, sensori-moteurs ou intellectuels.

Il analyse également les spécificités des apprentissages intentionnels et incidents, verbaux et non verbaux, réalisés en un ou plusieurs essais, simples ou complexes. Enfin, l'auteur explore les conditions d'efficacité ainsi que les facteurs qui peuvent perturber les différents types d'apprentissage. À ce titre, les difficultés liées au vieillissement neuronal font l'objet d'un chapitre particulier.



Publics

- Psychologues et neuropsychologues
- Orthophonistes