

**CONSCIENCE
INTELLIGENCE
LIBRE-ARBITRE** ?

Les réponses de la Théorie neuronale de la Cognition

Du même auteur

disponible sur : www.touzet.org/livres/

C. Touzet, *Les réseaux de neurones artificiels : introduction au connexionnisme*, Préface de Jeanny Hérault, EC2 éd., 1992, 150 pages.
ISBN : 2-906899-78X

Conscience, intelligence, libre-arbitre ?

Les réponses de la Théorie neuronale de la Cognition

Claude Touzet

« Le Code de la propriété intellectuelle interdit les copies ou reproductions destinées à une utilisation collective. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite par quelque procédé que se soit, sans le consentement de l'auteur ou de ses ayant droits est illicite et constitue une contrefaçon, aux termes des articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. »

« Lorsque l'œuvre a été divulguée, l'auteur ne peut interdire :
... La représentation ou la reproduction d'extraits d'œuvres, sous réserve des œuvres conçues à des fins pédagogiques, des partitions de musique et des œuvres réalisées pour une édition numérique de l'écrit, à des fins exclusives d'illustration dans le cadre de l'enseignement et de la recherche, à l'exclusion de toute activité ludique ou récréative, dès lors que le public auquel cette représentation ou cette reproduction est destinée est composé majoritairement d'élèves, d'étudiants, d'enseignants ou de chercheurs directement concernés, que l'utilisation de cette représentation ou cette reproduction ne donne lieu à aucune exploitation commerciale » (Art. L. 122-5).

© (Claude Touzet, 2010)

Editions la Machotte

155 Impasse d'Où Pèbre, F-13390 AURIOL, France (www.machotte.fr)

Dédicace

Ce livre n'aurait pas existé sans quelques personnes qui m'ont apporté beaucoup, et beaucoup qui m'ont apporté un peu. Je suis une partie de chaque personne que j'ai croisée – et la réciproque est vraie. J'en suis heureux.

S'agissant d'un livre « scientifique », je ne peux passer sous silence ceux qui m'ont appris mon métier ou fourni des clefs importantes. Malgré tous les étudiants que je pourrai former, je resterai toujours l'étudiant du Professeur Norbert Giambiasi (LSIS, Marseille), un Grand Professeur, spécialiste de modélisation. La robotique autonome est née lorsqu'il n'a plus été nécessaire d'avoir un fer à souder à la main pour faire une expérience avec un robot, ni d'être millionnaire. C'est mon ami le Dr Francesco Mondada (EPFL, Suisse) qui a rendu cela possible. J'ai jeté les prémisses de la Théorie neuronale de la Cognition lors de mon séjour (de deux années) dans le laboratoire du Dr Jacob Barhen aux USA (CESAR-ORNL, TN), un chercheur et une personne d'exception. Depuis mon retour aux Neurosciences, je collabore avec le Dr Béatrice Alescio-Lautier (LNIA, CNRS), pour le meilleur et sans le pire. Elle est mon joker en neuropsychologie.

Sur le plan « humain », j'ai la chance d'avoir rencontré beaucoup de personnes et de compter nombre d'entre elles parmi mes amis. Impossible de les citer tous ici, mais qu'ils se rassurent tous : j'ai une très bonne mémoire – en fait, je ne suis qu'une mémoire !

Enfin, je m'investis plus que de raison dans mes recherches, avec la tolérance et la bienveillance de ma famille, qu'ils en soient tous remerciés ici.

Table des matières

Dédicace	7
<i>Avertissement</i>	11
Préambule	13
1. Qui sommes-nous ?.....	17
2. Dans quel Monde vivons-nous ?.....	19
3. Qu'est-ce que notre cerveau ?.....	25
4. Qu'est-ce que la Théorie neuronale de la Cognition ?.....	39
5. Enfance, adolescence : des passages obligés ?.....	49
6. La motivation, source de nos comportements ?.....	53
7. Faire attention : pourquoi, comment ?.....	61
8. Pourquoi 6 700 langues sur cette planète ?	67
9. La conscience : une simple verbalisation automatique ?.....	71
10. Où a disparu le libre-arbitre ?	75
11. L'intelligence existe t-elle ?.....	79
12. Qu'est-ce que la joie, la peur ?	83
13. Comment faire de l'humour 100% efficace ?.....	87
14. L'amour, c'est quoi ?.....	89
15. Quelle est la différence entre un homme et une femme ?	93
16. Comment caresser avec brio ?.....	99
17. D'où viennent les lois, les tabous, les préjugés ?.....	101
18. Raisonner sans logique ?.....	107
19. Quelles sont les bases neuronales des maladies mentales ?.....	113
La folie / le génie ?	114
Dépression.....	115
Troubles de l'attention.....	119
Dyslexies.....	121
Autisme.....	122
Sommeil.....	123
TOC	125
Traumatisme crânien.....	126
AVC.....	128
Maladies neurodégénératives (Alzheimer).....	130
Perte d'autonomie cognitive.....	136
Suicide	139
20. Comment construire une conscience artificielle ?.....	141
21. Quel est notre futur ?.....	145
22. Comment être plus heureux ?.....	149
Est-ce aussi simple que cela ?.....	151

Avertissement

Ce livre changera votre vie, c'est pourquoi ce paragraphe est intitulé « avertissement » et non pas « avant-propos ». J'ai longuement hésité avant de mettre en forme pour le grand public les réponses qu'offre la Théorie neuronale de la Cognition à des questions comme : « Qui sommes-nous ? » et « Quel est notre futur ? ».

- Pourquoi avoir hésité ? Parce que cette théorie fournit des explications claires que chacun peut comprendre et que comprendre c'est accepter...*
- Pourquoi l'avoir publié ? Parce que cette théorie est « dans l'air ». Elle va petit à petit se cristalliser. Certes ici et maintenant c'est une chose nouvelle, mais d'autres que moi sont sur cette piste. En fait, toute civilisation suffisamment évoluée doit obligatoirement parvenir à cette connaissance, alors n'hésitons plus...*

Pour ceux qui continuent la lecture, je voudrais donner quelques clefs pour une compréhension optimale des pages qui suivent. Les dix premiers chapitres sont à lire dans l'ordre, après c'est à vous de voir. Ce livre ne contient aucune équation, non pas qu'il soit impossible d'en placer quelques unes de-ci de-là, mais je me crois capable de tout vous expliquer sans y recourir. Enfin, cet ouvrage n'est pas particulièrement destiné à mes collègues, ce n'est PAS une publication scientifique – mais une œuvre de vulgarisation.

CONSCIENCE, INTELLIGENCE, LIBRE-ARBITRE ?

Préambule

Gerald Edelman¹ (Prix Nobel de Médecine 1972), John Eccles² (prix Nobel de Médecine 1963) et de nombreux autres scientifiques réputés³ ont tenté de répondre à la question : « Comment fonctionne notre cerveau ? ». Ce qui revient à répondre à la question : « Qui sommes-nous ? » ou « Qu'est-ce la conscience ? ».

Comme ils n'avaient pas la réponse à ces questions, mais qu'ils désiraient aider et apporter leur pierre à l'édifice de la connaissance, leurs livres - bien que destinés au grand public - sont d'un haut niveau d'érudition et de précision scientifiques. A défaut d'une vision claire, ils disposaient d'une connaissance quasi-exhaustive des savoirs disponibles, qu'ils souhaitaient rendre intelligibles et compréhensibles afin de paver la voie pour leurs successeurs.

C'est un désir louable et qui les honore et, grâce à eux, il est autorisé depuis les années 1990 de choisir comme sujet de recherches scientifiques la question de la « conscience » (suite notamment à l'arrivée de l'IRM fonctionnelle).

Depuis quelques années, on assiste à une convergence conceptuelle dans les approches des uns et des autres, que certains perçoivent comme un signe annonciateur de l'avènement d'une théorie « mature » de la conscience. Ce livre leur donne raison et répond que « nous sommes UNIQUEMENT la cristallisation de nos souvenirs ». Cette idée n'est pas

1 Gérard M. Edelman, *Biologie de la conscience*. O. Jacob, Paris, 2008, 368 p. ISBN: 978-2-7381-2071-7.

2 John Eccles, *Comment la conscience commande le cerveau*, Fayard, 1997. ISBN : 978-2-2135-9766-9

3 Je n'en citerai qu'un ici : Christof Koch (qui travaille avec son ami Francis Crick, Prix Nobel de Médecine en 1962) *À la recherche de la conscience : une enquête neurobiologique*. O. Jacob, Paris, 2006, 460 p. ISBN: 2-7381-1712-0.

nouvelle puisqu'elle remonte aux années 1960, et fut même l'idée dominante dans les années 1980. Elle est défendue par des philosophes réputés, tels que Paul Churchland⁴, sous le nom de « matérialisme éliminativiste ». Cette thèse prétend que conscience, libre-arbitre et intelligence sont des illusions, et que bien que nous ayons l'impression que ces choses existent, cette impression est trompeuse. Le matérialisme éliminativiste est un courant du matérialisme, qui en compte bien d'autres (fonctionnalisme matérialiste, théorie du double-aspect, etc.), sachant que l'idée philosophique du matérialisme s'oppose au dualisme qui compte quelques défenseurs de renom. En résumé, les philosophes - qui ont la charge de proposer des théories relatives au fonctionnement de l'Univers - n'ont jamais été à court d'hypothèses. Ils ont (à mon humble avis) déjà tout proposé, et son contraire aussi.

Ce qui leur fait défaut, ce ne sont pas les idées, mais les preuves : les moyens de choisir parmi les hypothèses proposées. La Théorie neuronale de la Cognition (TnC) décrit ici pour la première fois comment un assemblage de neurones peut s'organiser pour que son propriétaire montre des comportements typiquement humains comme intelligence, langage, lecture, émotions, amour, humour, peur et bonheur. Il n'est pas certain que nous fonctionnions ainsi, ou même que l'hypothèse du matérialisme éliminativiste soit la bonne – mais à l'heure actuelle, c'est la meilleure que nous ayons car la TnC est la seule qui explique avec tous les détails comment construire un artefact cognitif (une « conscience artificielle »).

Une théorie, qui ambitionne d'expliquer « ce que nous sommes », doit être dotée d'un grand pouvoir explicatif. Cette théorie doit pouvoir répondre à toutes les questions que nous nous posons, pas seulement les questions « scientifiques », mais aussi les questions « banales ». De fait, chaque chapitre de ce livre est présenté comme la réponse à une question. Certaines questions sont scientifiquement importantes, d'autres peuvent paraître puériles.

Il n'y a pas de questions puériles ou idiotes ou interdites, il n'y a que des préjugés vis à vis de la Science, de ce qui est « bien », « beau » et « noble » et de ce qui ne l'est pas ! A mon avis, toute question est légitime et les réponses apportées par la TnC démontrent l'étendue de

4 Churchland, P.M. (1992). *A Neurocomputational Perspective: The Nature of Mind and the Structure of Science*. Cambridge, MIT Press. ISBN 0-262-03151-5.

PREAMBULE

son pouvoir explicatif – un argument crucial lorsque l'on doit mesurer la validité d'une théorie.

Last but not least (comme diraient nos amis Grands Bretons), la TnC en est à ses balbutiements. Il est du ressort de chacun, à commencer par les chercheurs, de se l'approprier et de reconsidérer son domaine de recherche avec cet éclairage. Il n'y a pas de théorie ultime, il n'y a que des paliers dans la quête de connaissance. Notre quête a duré longtemps, mais très bientôt nous allons pouvoir moissonner. Dans les années qui viennent, la Science fera un bond en avant significatif, au minimum dans les domaines de la compréhension et du traitement des maladies mentales, de l'acquisition des connaissances et de la pédagogie, du bonheur individuel et collectif.

CONSCIENCE, INTELLIGENCE, LIBRE-ARBITRE ?

1. Qui sommes-nous ?

Voilà une question que nous nous sommes tous posée, plus souvent durant l'adolescence qu'à l'âge adulte. En vieillissant, cette question devient moins fréquente : de plus en plus de gens trouvent une réponse qui leur suffit. Bien évidemment, les réponses trouvées sont très variées et aucune n'est scientifiquement fondée. La Science, sur ce sujet, n'est pas bavarde. Certes, depuis 4 000 ans les philosophes font proposition sur proposition – mais aucun consensus ne se dégage. Je vous propose d'aborder la question sous un angle nouveau : ce que nous sommes est certainement commun à tous les hommes, pourquoi ne pas s'intéresser à ce que nous partageons tous ?

Par exemple, nous posons encore et toujours une même question jusqu'à obtenir une réponse. Dès que nous avons une réponse, nous l'apprenons, puis nous passons à la question suivante qui devient aussitôt notre nouveau point de fixation. Ce comportement rappelle celui d'une mémoire. **Sommes-nous une mémoire ?**

Oui, car nous apprenons des informations et nous sommes capables de les retrouver. Notre cerveau est une mémoire associative : il trouve les réponses aux questions par association. Question et réponse sont associées, impossible d'avoir l'une sans l'autre. En fait, la question est un morceau de l'information mémorisée et la réponse cherchée est un autre morceau. Question et réponse sont une portion – pas obligatoirement le tout – d'une information apprise.

Par exemple, si je cherche la date de naissance de mon aîné, je me pose une question telle que : « Alexandre est né le ? ». Cette question contient plusieurs données : le prénom « Alexandre », le verbe « né ». La réponse qui m'intéresse à cet instant est une date, mais avec cette même question j'ai aussi accès au lieu de sa naissance, aux circonstances de

l'accouchement et à quantité d'autres informations associées elles aussi à cet événement.

Notre cerveau est une mémoire associative biologique, ce qui le différencie d'une mémoire d'ordinateur. Une mémoire biologique est vivante, elle est donc capable de se réparer – mais elle subit aussi les assauts du temps. Notre cerveau est constitué de cellules nerveuses que l'on appelle des neurones. Les scientifiques pensent que la mémoire réside dans les connexions qui lient les neurones les uns aux autres.

Ne sommes-nous qu'une mémoire ? Vous répondrez vraisemblablement non à cette question – car comment une mémoire peut-elle être intelligente, avoir une conscience, faire preuve de libre-arbitre, être capable de raisonner, éprouver de la joie ou de la peur, faire de l'humour, être amoureuse ou se suicider ?

Dans ce livre, j'explique comment une mémoire peut faire tout cela en étant seulement une mémoire. Mon premier objectif est d'apporter un argument scientifique à l'appui du fait que **vous et moi sommes seulement et uniquement une mémoire !**

Ce constat induit des répercussions considérables sur notre vie. Nous pouvons nous en servir pour vivre plus sereinement, plus agréablement, arrêter de vieillir, comprendre les différences entre les hommes et les femmes, entre les enfants et les ados, entre les ados et les adultes, entre les adultes et les seniors, entre les peuples. Nous pouvons aussi nous en servir pour mieux comprendre les maladies mentales, construire des robots doués d'une conscience, et connaître notre futur. Mon second objectif est de vous instruire sur ces divers points, tous abordés dans ce livre.

2. Dans quel Monde vivons-nous ?

Au chapitre précédent, j'ai écrit que nous étions une mémoire, et que mon propos dans la première partie de ce livre serait de vous montrer comment une mémoire peut donner l'illusion de la conscience et du libre-arbitre. La première chose à laquelle nous devons nous intéresser est le Monde dans lequel nous vivons, celui qui est à notre échelle de taille (à partir du millimètre) et à notre échelle de temps (à partir de la milliseconde).

Premier constat : notre Monde est **continu**. Entre deux instants successifs, peu de choses varient. Si nous réduisons l'intervalle de temps entre ces deux instants, alors les variations sont encore moins nombreuses et plus petites. L'évolution de la situation actuelle à la situation prochaine (dans quelques millisecondes) modifie seulement un petit nombre d'aspects de la situation.

Par exemple, si nous regardons une voiture qui roule vers nous, une seconde plus tard elle est un peu plus grosse, mais toujours de la même couleur, toujours dans la même direction, et les arbres n'ont pas changé de place, ni le bitume de texture.

Dans le contexte d'un échange verbal, c'est la même chose. A un instant donné de la conversation, le nombre de mots candidats pour être le prochain mot prononcé est réduit – à tel point que certaines personnes se font une spécialité (agaçante) de tenter de terminer les phrases de leur interlocuteur.

Second constat : le Monde est **cohérent**. Les choses restent stables et se répètent de la même façon (sauf exception). Le Monde réel est constitué de **régularités**.

Troisième constat : notre **perception** du Monde est **multi-dimensionnelle**. Une situation donnée est perçue par nos cinq sens, que l'on appelle aussi modalités : vue, ouïe, odorat, toucher, goût. Mais dans chaque modalité, il y a plusieurs dimensions supplémentaires. Par exemple pour la vision, quelques unes des dimensions supplémentaires sont : la couleur, la position, la forme, la texture, la netteté, la vitesse de changement d'une de ces valeurs, voire la vitesse de changement de la vitesse de changement que l'on appelle l'accélération, etc. Il y a aussi maints aspects de la réalité que nous ne percevons pas⁵.

Chaque situation que nous vivons est composée de multiples aspects : les éléments que nous voyons, ceux que nous entendons, ceux que nous sentons, etc. Chaque élément est perçu à travers une valeur dans une ou plusieurs dimensions. Par exemple, je vois une voiture, elle est rouge, sa forme est celle d'une Porsche, je ne l'entends pas, mais j'entends par contre le bruit des cigales dans les arbres. Il y a de nombreuses couleurs possibles pour une voiture. Ici et maintenant c'est « rouge », mais cela aurait pu être jaune ou noir. La situation actuelle est donc une parmi de multiples situations possibles – des milliers sans doute. Mais toutes les situations de ce type n'ont pas la même probabilité (elles ne sont pas équiprobables). Il est extrêmement rare de voir une Porsche verte à pois bleu, et beaucoup plus commun de voir une Porsche de couleur noire.

Une situation réelle (du Monde) est donc décomposée par nos sens en de multiples dimensions. Pour chaque dimension, il existe un grand nombre de valeurs possibles, mais une seule à un instant donné. De fait, nous dirons que le Monde est multidimensionnel, et qu'**à chaque situation correspond un point dans cet espace multidimensionnel**. Cet espace est l'espace cartésien avec les 3 dimensions de l'espace (les coordonnées x, y, z de la position où je me trouve), plus une dimension pour la date (t), plus d'autres dimensions pour coder la position de chacun des éléments inclus dans la situation, leurs couleurs, les sons en

5 Par exemple, les couleurs dans le domaine de l'infra-rouge (mais qui sont très bien perçues par d'autres animaux adeptes de la vie nocturne), les rayons X si utiles au diagnostic médical, ou les ondes radio pour nos téléphones portables et télévisions, etc. Au niveau des sons, les humains sont sourds aux infra-sons (utilisés pour la communication à longue distance des éléphants), et aux ultra-sons (qu'entendent très bien nos chiens).

provenance des différents objets, leurs odeurs, leurs formes, etc. (fig. 2.1).

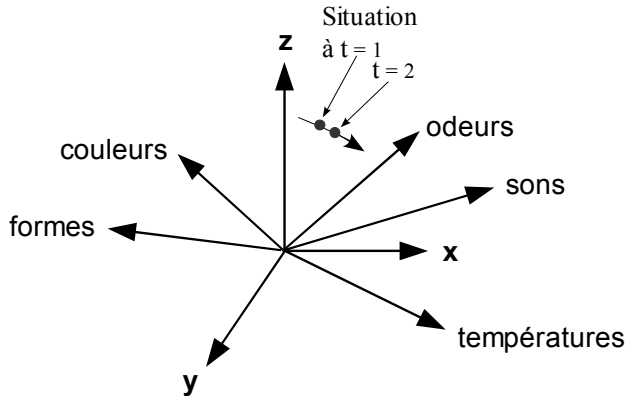


Figure 2.1 – Chaque situation que nous vivons est un point dans un espace multidimensionnel. Le Monde est continu : entre deux instants successifs ($t=1$ et $t=2$), la situation change peu. Il est donc possible de discerner des trajectoires qui sont des successions de situations.

Du fait de la continuité du Monde, entre deux instants successifs, les **points** représentatifs des situations perçues par un même observateur au sein de l'espace multidimensionnel sont soit **identiques** (rien n'a changé), soit **voisins** (peu d'éléments ont changé).

Cet **Espace** multidimensionnel est **pratiquement vide**, puisqu'il est capable de coder tout ce qui peut arriver comme situations. Faisons un rapide calcul du nombre de situations possibles (très en dessous de la réalité), afin d'éclairer mon propos :

10 goûts x 10 couleurs x 10 températures x 10 formes x 10 vitesses x 10 accélérations x 1000 positions en X x 1000 positions en Y x 1000 positions en Z x 1000 dates t x 10 odeurs x 100 sons x 10 textures x 10 pressions = 100 000 milliards de milliards, soit 10^{23} situations).

Pourtant, nous ne vivons pas plus de quelques milliards de situations au cours de notre vie : admettons 10 situations par seconde pendant 100 ans = $100 \times 365 \times 24 \times 3600 \times 10 = 31$ milliards, soit environ 10^{14} . D'après ce calcul, il y a 1 situation vécue pour 1 milliard de situations possibles.

Un espace n'existe que par ce qu'il contient (s'il est totalement vide, il n'existe pas). Dans le cas qui nous intéresse ici, nous appellerons « données » les points représentatifs des situations. Une propriété importante de l'espace est sa **topologie**, c'est-à-dire sa forme. Comme un espace n'existe que par les données qu'il contient, alors la forme d'un espace se définit par la localisation de ses données (fig. 2.2). Où sont-elles ? Comment sont-elles agencées les unes par rapport aux autres ? Pour répondre à ces questions, il faut disposer d'une métrique, c'est à dire d'un moyen de mesurer des distances dans cet espace.

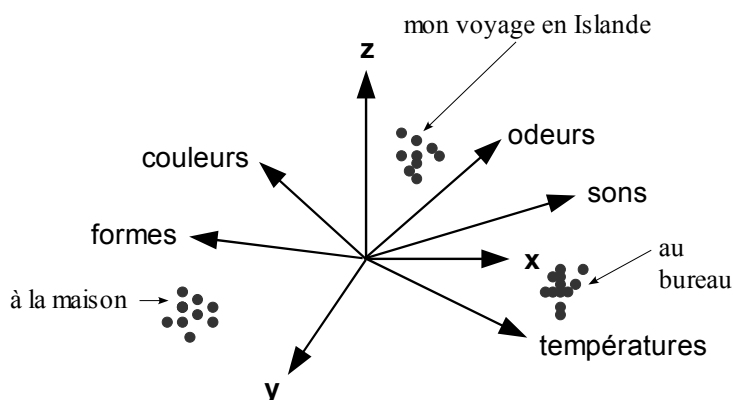


Figure 2.2 – Chacun de nous vit certaines situations et pas d'autres. Ces situations ne sont pas réparties de manière homogène, mais regroupées dans certaines régions de l'Espace multidimensionnel. Ces régions définissent notre Environnement personnel et rien d'autre n'existe.

Mesurer des distances à l'aide d'un double-décimètre est seulement adapté dans le cas d'un espace « cartésien », c'est à dire celui dans lequel nous nous déplaçons. Si l'espace qui nous intéresse contient des données qui sont des odeurs, alors la distance entre deux odeurs ne se mesure pas en centimètres. Une manière de mesurer la **distance entre deux données** est de compter le nombre de données qui les séparent.

Dans le cas d'un espace de dimension 1, c'est très facile puisque toutes les données sont alignées sur un fil (cf. fig. 2.3a). Chaque donnée est entourée de deux voisins et deux voisins seulement – à droite et à gauche (sauf pour les première et dernière données qui n'ont qu'un seul voisin). A partir du nombre de « voisins » qui séparent deux données, nous pouvons en déduire si ces données sont proches ou lointaines.

Dans le cas d'un espace à 2 dimensions, chaque donnée est entourée de quatre voisins (haut, bas, droite, gauche) comme le montre la fig 2.3b. En fait, il est tout à fait possible de définir un voisinage différemment qui comptera par exemple huit voisins, cela ne change rien au discours.

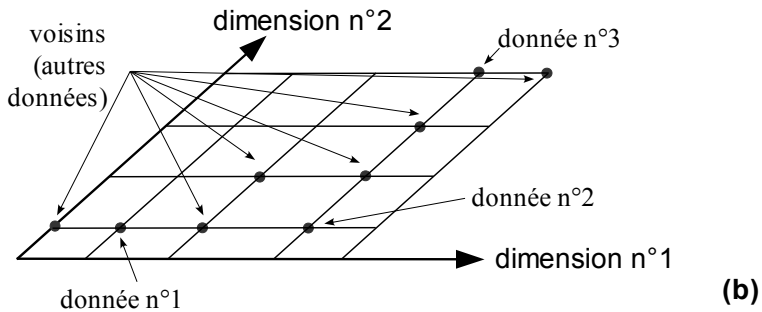
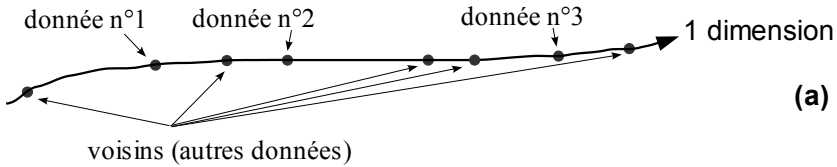


Figure 2.3 – Pour estimer les distances dans un Espace multidimensionnel, nous pouvons utiliser le nombre de données (situations) qui séparent deux données particulières. Dans le cas d'un espace de dimension 1 (1-D), la donnée n°2 est plus proche de la n°1 que la n°3. Dans le cas d'un espace de dimension 2 (2-D), la distance qui sépare le n°1 et le n°2 est de 2, celle qui sépare le n°1 et le n°3 est de 5, celle qui sépare le n°2 et le n°3 de 3.

Résumé : Nous percevons le Monde décomposé dans de nombreuses dimensions. A chaque instant, la situation vécue correspond à un point dans un espace multidimensionnel. Comme le Monde est continu, les situations que nous vivrons dans un futur proche sont voisines de la situation actuelle. Il est donc très utile (pour notre survie par exemple) de pouvoir trouver, automatiquement et à chaque instant, quelles sont effectivement les situations voisines. C'est ce que sait faire notre cerveau ! Comment ? C'est ce que nous verrons dans le chapitre suivant.

CONSCIENCE, INTELLIGENCE, LIBRE-ARBITRE ?

3. Qu'est-ce que notre cerveau ?

Notre cerveau est constitué de plusieurs centaines de milliards de neurones. La moitié d'entre eux sont dans une structure appelée **cortex** (« écorce » en grec). Par rapport à notre taille, notre cortex est le plus développé du règne animal terrestre (les champions toutes catégories sont les dauphins). Il mesure environ 2 mm d'épaisseur pour une surface de 0,4 m², ce qui explique qu'il soit plissé pour tenir dans notre boîte crânienne (fig. 3.1).

Le cortex occupe la moitié de notre crâne, l'autre moitié est occupée par des structures aux noms plus ou moins évocateurs : Hippocampe, Amygdale, Hypothalamus, etc. Ces structures sont connectées au cortex et l'on peut considérer qu'elles permettent aux informations traitées par une région du cortex de gagner une région éloignée très rapidement. La fonction est donc celle de « raccourcis » (rappelez-vous que le cortex mesure environ 0,63 m par 0,63 m. Passer d'un côté à l'autre en suivant le cortex est très long. Par contre, il est replié sur lui-même, et donc les structures sous-corticales sont très près de l'ensemble du cortex).

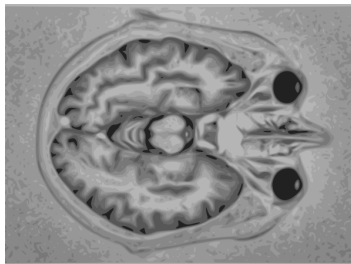


Figure 3.1 – Le cortex (4 000 cm²) est replié sur lui-même pour tenir dans la boîte crânienne (IRM). Brain MRI Vector representation, Nevit Dilmen, 2006, licence Creative Commons Attribution ShareAlike 3.0. (Wikipedia).

Les neurones du cortex sont arrangés en micro-colonnes de 110 neurones partageant la même fonction. Ces micro-colonnes sont regroupées en colonnes, à raison de 1 000 micro-colonnes au comportement similaire par colonne. Cet arrangement est inné : il est automatiquement construit par le programme génétique. Dans un cerveau en bon fonctionnement, les colonnes corticales voisines sont assemblées au sein de « cartes » qui traitent un même type d'information (fig. 3.2). Les **cartes corticales** sont très nombreuses.

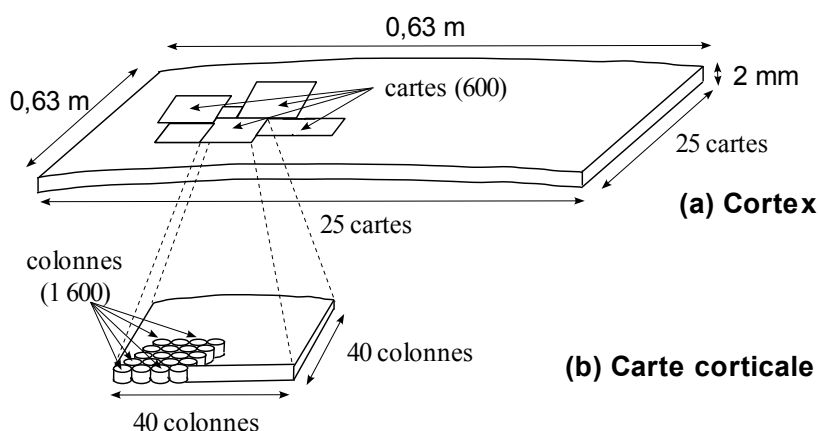


Figure 3.2 – (a) Le cortex est organisé en centaines de cartes corticales. (b) Chaque carte corticale contient plus d'un millier de colonnes corticales, chacune comprenant un millier de micro-colonnes.

Nous connaissons la fonction de certaines cartes corticales. Par exemple, certaines cartes sont spécialisées dans le traitement visuel et extraient de l'image rétinienne les contours, les déplacements, les contrastes, les couleurs, les orientations (fig. 3.3). La découverte du fonctionnement du **cortex visuel**⁶ vaudra le prix Nobel de Médecine (1981) aux chercheurs David Hubel et Torsten Wiesel.

De la même façon, d'autres cartes traitent les informations provenant de nos autres sens. L'Homuncule de Penfield⁷ (Wilder Penfield, 1891-1976) est la représentation au niveau du cortex de l'ensemble des

6 D. Hubel, *Eye, Brain, and Vision*, Freeman, May 1995. ISBN 978-0-7167-6009-2. Disponible sur le Web à l'adresse : <http://hubel.med.harvard.edu/book/ch5.pdf>

7 Homunculus : « petit homme » en Latin.

W. Penfield, T. Rasmussen, *The cerebral cortex of man*, Macmillan, 1950.

informations tactiles de notre corps, notamment en provenance des capteurs de pression localisés dans notre peau (fig. 3.4). D'autres cartes sensorielles codent les informations en provenance de notre nez (olfaction), de notre langue (goût), de notre ouïe, etc.

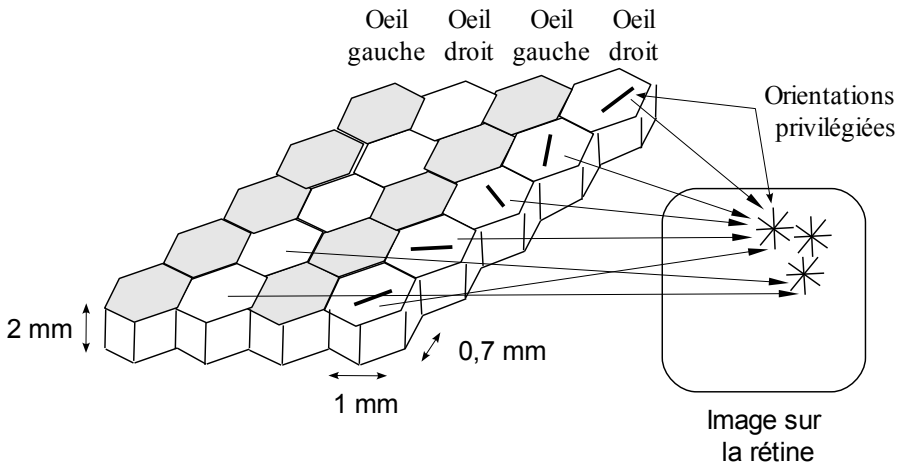
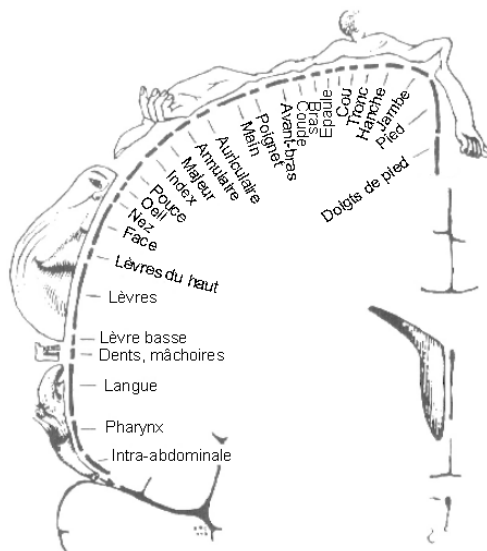


Figure 3.3 – Carte corticale codant les orientations spatiales des stimuli présentés sur la rétine. Chaque colonne corticale s'excite principalement pour un contraste dans une orientation précise, en un point précis de la rétine. Sur l'image rétinienne, nous avons dessiné les stimuli pour trois localisations. Deux de ces localisations génèrent des activations sur des colonnes du morceau de carte dessiné ici. Notez l'alternance œil droit-œil gauche sur la carte. La localisation sur la rétine de la zone d'intérêt est identique entre deux colonnes voisines, même si elles appartiennent à des yeux différents.

Les cartes corticales sont **auto-organisées**, c'est-à-dire que les comportements individuels des neurones qui les composent s'ajustent automatiquement, et que le résultat de cet ajustement montre une organisation à l'échelle de la carte tout entière. Cette organisation est inévitable. Il suffit que des informations du Monde parviennent à nos sens (capteurs sensoriels) pour qu'elles soient relayées vers le cortex. Ces informations modifient le comportement des neurones des colonnes corticales générant *de facto* un ajustement des cartes. Ces cartes représentent les informations reçues en respectant deux critères : leur

fréquence et leur similarité. Par exemple, pour l'Homuncule (fig. 3.4), la surface corticale occupée par une partie du corps dépend directement, et uniquement, du nombre de capteurs qu'elle contient. Le pied contenant autant de capteurs sensoriels (*i.e.*, informations) que l'ensemble du dos, leurs surfaces respectives sont équivalentes sur l'Homuncule.



*Figure 3.4 – L'Homuncule (de Penfield) est la carte corticale représentant notre corps. Les informations tactiles construisent l'Homuncule sensoriel (hémisphère gauche), tandis que les informations envoyées aux muscles construisent l'Homuncule moteur (hémisphère droit). D'après W. Penfield, T. Rasmussen, *The cerebral cortex of man*, Macmillan, 1950, pp. 214-215.*

Les cartes corticales conservent fréquence et similarité, ce qui signifie qu'il est possible de savoir, rien qu'en regardant l'organisation d'une carte, quelles ont été les situations les plus fréquentes et celles qui l'étaient moins (fig. 3.5, 3.6 et 3.7). On peut aussi être assuré que des situations « similaires » sont représentées par des colonnes corticales voisines. Les mathématiciens parlent d'une « *projection d'un espace multidimensionnel sur un sous-espace de dimension 2, laquelle projection respecte fréquence et similarité* » (*sic*⁸).

⁸ Du latin *sic* signifiant « ainsi » (de la façon dont cela a été dit, aussi étrange que cela paraisse)

QU'EST-CE QUE NOTRE CERVEAU ?

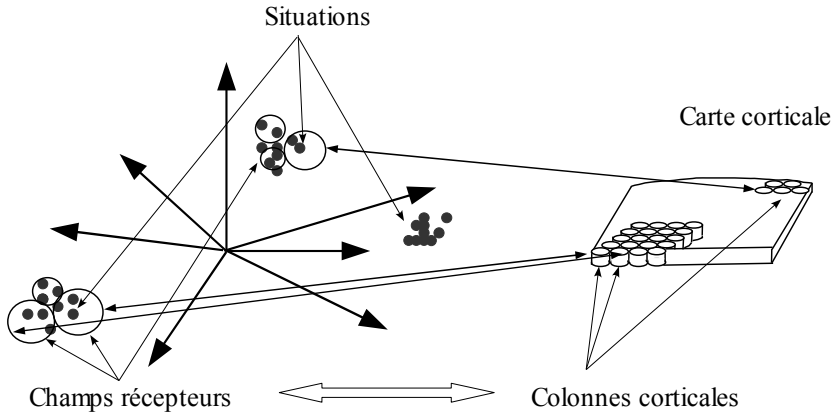


Figure 3.5 – Une carte auto-organisatrice est une projection d'un Espace multi-dimensionnel qui respecte fréquence et voisinage. Ce qui est fréquent dans l'Espace est mieux représenté sur la carte que ce qui ne l'est pas. Ce qui est voisin dans l'Espace est voisin sur la carte. A chaque colonne de la carte est associée une région de l'Espace. Cette région est le « champ récepteur » de la colonne.

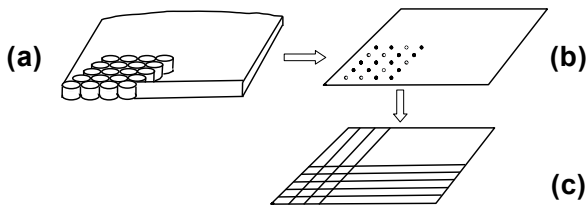


Figure 3.6 – (a) Une carte corticale avec ses colonnes peut être représentée (b) par un point au centre de chaque colonne. Cependant, il est plus utile de « visualiser » le voisinage de chaque colonne. Les lignes verticales et horizontales en (c) donnent le voisinage. A chaque intersection, il y a une colonne. Chaque colonne a 4 colonnes voisines (sauf sur les bords : 3 voisines, et dans les coins : 2 voisines). De plus, comme les comportements des micro-colonnes d'une colonne sont similaires, nous ne dirons plus « colonne », mais « neurone » (ce neurone en représente environ 110 000).

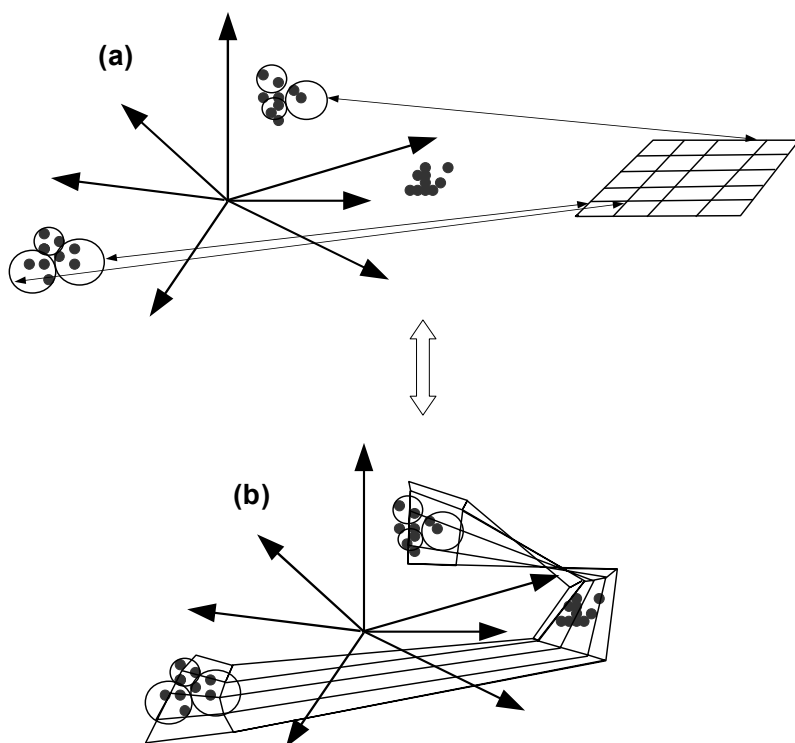


Figure 3.7 – (a) Chaque neurone est associé à un champ récepteur (représenté par un cercle) dans l'Espace multi-dimensionnel. Les champs récepteurs voisins sont associés à des neurones voisins. (b) Lorsque l'on place les neurones directement au centre de leur champ récepteur et que l'on trace les voisinages, alors l'observateur a l'impression de voir la carte se tordre dans l'Espace multi-dimensionnel. Il s'agit d'une vue de l'esprit. Le cortex ne change pas de forme – mais il est utile de se rendre compte de la façon dont la carte s'organise pour représenter les données avec le minimum d'erreur .

Si l'on considère le cas de l'espace des mots de 10 lettres qui composent ce livre, alors une **carte auto-organisatrice**⁹ peut être utilisée pour

9 Teuvo Kohonen, *Self-Organizing Maps*, Springer Series in Information Sciences, Vol. 30, 2001. Third Ed., 501 pages. ISBN 3-540-67921-9, ISSN 0720-678X

représenter en deux dimensions seulement (une feuille de papier par exemple) le maximum de mots en veillant à deux choses :

1. Les mots à l'orthographe voisine sont voisins sur la feuille,
2. Si les mots sont trop nombreux pour être tous écrits sur la feuille, alors ceux qui seront écrits seront les plus fréquents du livre.

Rappel : les mots de 10 lettres sont des données à 10 dimensions. La première dimension correspond à la première lettre du mot. Cette lettre est une des 26 lettres possibles de l'alphabet (on ne tient pas compte ici des caractères accentués). La deuxième dimension correspond à la seconde lettre du mot. Comme la valeur de la seconde lettre ne dépend pas du choix de la première lettre, alors ces deux dimensions sont indépendantes. Chaque mot de 10 lettres est une donnée d'un espace de dimension 10.

C'est l'**apprentissage** qui associe à chacun des neurones de la carte un mot de 10 lettres¹⁰ (fig. 3.8). Cette association est construite progressivement. Comme pour un nouveau-né, avant l'apprentissage les neurones ne sont pas (auto-)organisés. Le premier mot du livre est présenté à la carte et tous les neurones reçoivent la même information : les 10 lettres qui composent ce mot. A partir de cet instant, le premier neurone qui sera excité empêchera les autres de l'être aussi pendant quelques instants – le temps que l'information présentée disparaisse. Comme il a été excité, ce neurone doit modifier sa structure physique. La modification réalisée garantit que la prochaine fois que ce mot sera présenté, ce neurone gagnera avec encore plus de facilité. Les neurones immédiatement voisins sont eux aussi affectés par l'apprentissage et modifient eux aussi leurs structures physiques, mais dans une moindre mesure. Ce faisant, ils deviennent eux aussi plus excitables – plus réceptifs – pour ce mot en particulier (mais dans une proportion moindre que le neurone gagnant). Puis, le processus est répété pour tous les mots du livre qui sont présentés à tour de rôle aux neurones de la carte.

Lorsque tous les mots du livre ont été fournis une fois à la carte, cela s'appelle une **itération d'apprentissage**. Relire le livre, c'est faire une seconde itération d'apprentissage. Plus le nombre d'itérations augmente, meilleure est la qualité de la représentation sur la carte. Notez que même

10 Cet exemple est à visée pédagogique. Notre cerveau mémorise les mots, non pas d'après les lettres qui les composent, mais d'après les « bigrammes » (cf. figure 4.3).

une carte ayant très bien appris, continue à apprendre (et donc à se modifier tout au long de notre vie) car un neurone est incapable de fonctionner sans tenir compte de son fonctionnement.

difference difference situations situations situations corticales corticales
 precedente dompeente syaaotique situations dimensions dortissles frequentes
 compreenes comprenses comsrience impliquant dmpeesioe depression proieation
 organisees comsrienee conscience consiience impossible peprestion peoieation
 indinisues perientent conscience continuite connexions reurinales peoieation
 decientent permentent permentent connexions connexions conneement maintenant
 decouvrent decmentent necessaire necessaire conneement enaitement raaillement

Figure 3.8 – Carte auto-organisatrice (7 x 7 neurones) après apprentissage des mots de 10 lettres de ce livre. A l'emplacement de chaque neurone est indiqué le mot qui l'active. Seuls les mots les plus fréquents sont représentés. Remarquez que les mots « voisins » sont voisins sur la carte. Certains neurones sont associés à des mots qui n'existent pas (il s'agit d'une combinaison entre plusieurs mots). Dans ce livre, les mots (de 10 lettres) les plus fréquents sont : différence, situations, corticales, précédente, dimensions, fréquentes, impliquant, dépression, organisées, conscience, continuité, connexions, etc.

Donald Hebb (biologiste américain) a proposé (en 1942) la célèbre **loi de Hebb**¹¹ qui modélise les effets résultant d'une interaction entre deux¹² neurones. Il existe de multiples versions de sa proposition, celle que nous utilisons ici est la suivante :

« Si deux neurones A et B interconnectés sont actifs dans une même fenêtre temporelle, alors la force des connexions entre A et B, et aussi entre B et A, est renforcée ».

La durée de la fenêtre temporelle est de l'ordre de quelques millisecondes. Cette fenêtre temporelle signifie que l'ordre d'activation (A actif avant B, ou B actif avant A) n'a pas d'importance.

Il est très facile (à condition de disposer d'un microscope électronique) de voir les **modifications physiques** qui affectent les connexions entre neurones, en un lieu appelé « synapse ». La synapse est l'espace qui

¹¹ Donald Hebb, *The Organization of Behavior : A Neuropsychological Theory*, Wiley, 1949.

¹² Cette règle s'applique de la même manière s'il y a plus de deux neurones impliqués.

sépare deux neurones et inclut les extrémités de chacun des neurones (fig. 3.9). L'information arrive par l'axone du neurone A, traverse l'espace intersynaptique et repart sur la dendrite du neurone B. L'information est un signal électrique véhiculé par l'axone, qui libère dans l'espace intersynaptique des molécules chimiques de neurotransmetteur. Ces molécules traversent la fente synaptique et modifient la polarisation électrique de la dendrite. Si la dépolarisation est assez forte, alors le neurone B devient « excité ». Un neurone excité envoie un signal électrique via son axone à tous les neurones auxquels il est connecté. Une synapse qui a été active de manière répétée augmente de taille. De cette manière la quantité de neurotransmetteur larguée (par le neurone A) dans la fente synaptique est plus grande et les récepteurs (du neurone B) au neurotransmetteur sont plus nombreux.

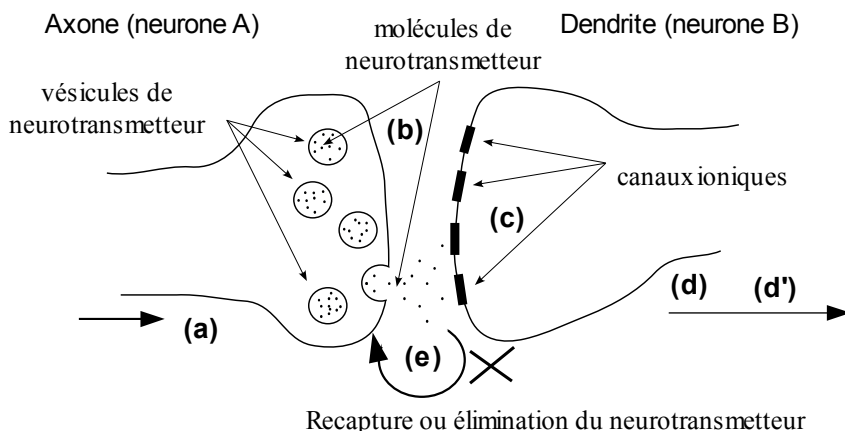


Figure 3.9 – L'apprentissage est une modification de la connexion (synapse) entre deux neurones. Chronologie des événements : a) Arrivée d'un potentiel d'action (courant électrique) en provenance du neurone A. b) Libération et diffusion du neurotransmetteur dans l'espace intersynaptique. c) Ouvertures des canaux ioniques au niveau de la dendrite du neurone B (dus aux molécules de neurotransmetteur). d) Génération d'un potentiel évoqué excitateur pour le neurone B. d') Génération d'une hyperpolarisation (qui empêche l'excitation). e) Fermeture des canaux ioniques, élimination ou recapture du neurotransmetteur.

Les connexions réciproques du neurone B vers le neurone A, que ce soit en direct ou par l'intermédiaire d'un inter-neurone sont aussi renforcées (fig. 3.10). Environ 70% des neurones du cerveau libèrent dans l'espace intersynaptique un neurotransmetteur dont l'effet sur les dendrites est **inhibiteur** – c'est-à-dire qu'il tend à retarder, voire à empêcher, la survenue d'une excitation. A noter qu'un même neurone peut tout à fait être inhibiteur vis à vis de ses proches voisins et excitateur à plus longue distance.

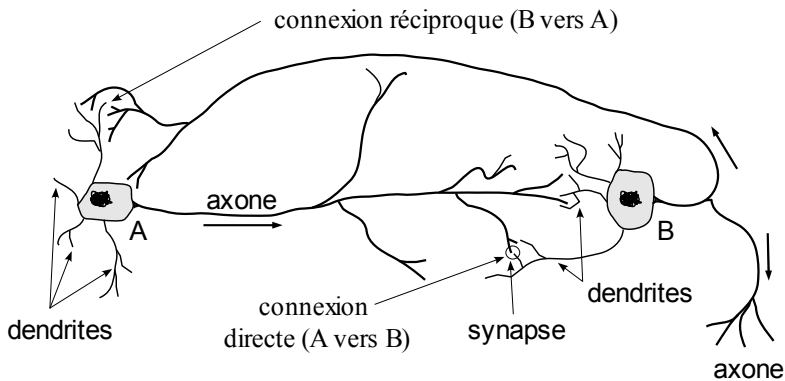


Figure 3.10 – Connexions entre deux neurones. Les corps cellulaires sont en grisé, le noyau de la cellule est représenté. L'information entre par les dendrites et est transférée (éventuellement) via l'axone. La jonction entre l'axone et les dendrites est appelée la synapse. Entre deux neurones appartenant à la même carte, il y a des connexions directes et réciproques (latérales) inhibitrices. Entre deux neurones appartenant à des cartes différentes, il y a des connexions directes et des connexions réciproques excitatrices.

Chaque neurone établit environ **10 000 synapses** avec d'autres neurones. Une unique synapse a donc peu d'effet sur le comportement du neurone. Il faut un « consensus » d'un grand nombre de synapses pour obtenir une excitation ou une inhibition du neurone. Le nombre de synapses entre deux mêmes neurones est de quelques centaines ou milliers. Un neurone est donc connecté à quelques dizaines ou centaines de neurones – au maximum !

L'ensemble de notre cortex est constitué de très nombreuses **cartes auto-organisatrices**¹³, qui organisent et échangent des informations (fig. 3.11). Une carte reçoit des informations (données) d'un organe sensoriel (œil, oreille, etc.) ou d'une ou plusieurs autres cartes – et elle est obligée d'en tenir compte. La carte apprend et s'organise dès que des informations lui parviennent. Ces informations proviennent d'un Monde cohérent, constitué de régularités (*cf. chapitre précédent*). **Les régularités les plus fréquentes sont les premières informations apprises** par la carte. Puis, les régularités un peu moins fréquentes trouvent aussi leurs places sur la carte, et ainsi de suite. Les événements peu fréquents ne sont pas mémorisés par cette carte, ils le seront par d'autres cartes placées plus haut dans la hiérarchie.

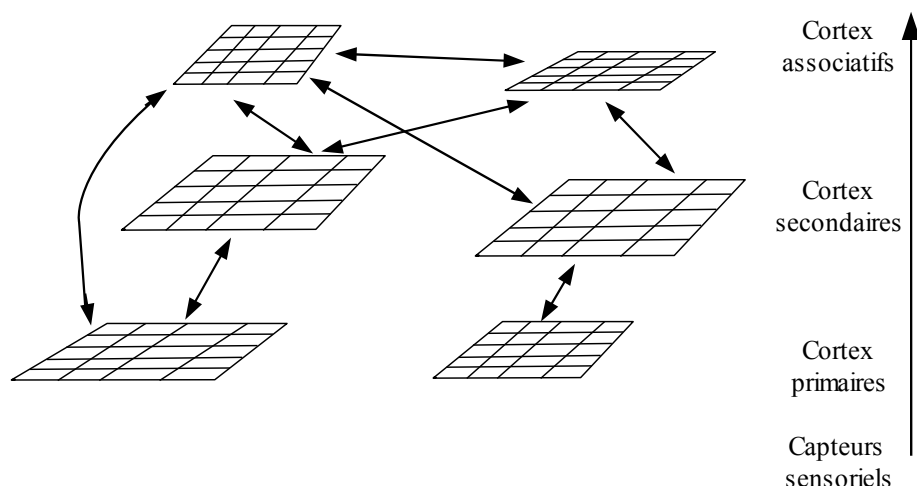


Figure 3.11 – Le cortex est constitué de multiples cartes auto-organisatrices interconnectées. Les cartes les plus proches des capteurs sensoriels sont organisées avant les autres. Elles constituent les cortex primaires (vision, audition, toucher, etc.). Elles alimentent des cartes appartenant aux cortex secondaires, puis les cortex associatifs. Il y a de très nombreuses connexions directes et réciproques.

Au niveau de la carte représentant les couleurs (cortex visuel), les premières couleurs mémorisées sont les **couleurs primaires** (rouge, vert,

13 M. Silver and S. Kastner (2009) – Topographic maps in human frontal and parietal cortex, *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 13, No. 11, 488-495.

bleu), plus le noir et le blanc : les couleurs les plus fréquentes. Plus tard, et plus tard seulement, les couleurs secondaires seront elles aussi représentées sur la carte, puis les couleurs tertiaires. Ceci explique pourquoi les jouets pour bébé sont si colorés, et en même temps si pauvres en nuances de couleurs.

Les cartes mémorisent des informations tout au long de notre vie. Chaque couleur vue par notre œil est projetée sur la carte des couleurs et induit une compétition entre les neurones, laquelle induit un renforcement des connexions du neurone gagnant avec les neurones d'entrées (cônes de la rétine).

C'est une bonne idée que **l'apprentissage** des cartes auto-organisatrices soit **permanent** (sauf cas particulier impliquant une période critique) : cela nous permet de changer d'environnement et de nous y adapter. Les esquimaux disposent de 27 mots pour qualifier la neige. Les explorateurs polaires ayant hiverné dans ces contrées lointaines sont parvenus (après plusieurs mois) à distinguer eux aussi les diverses qualités de la neige. D'autres peuples, vivant dans d'autres environnements, ne connaissent pas les mêmes couleurs que nous. Le Bassa, parlé au Liberia ne distingue que deux couleurs: « ziza », rouge/orange/jaune et « hui », qui fait vert/bleu/violet. En Nouvelle-Guinée, la langue Dan ne distingue que les choses claires « mola » et foncées « mili ». Sur un échantillon de 240 langues, seules 9 d'entre elles ont un mot pour blanc et noir, et 21 langues n'ont que blanc, noir et rouge comme couleurs¹⁴. Nous pouvons en conclure que déménager en Nouvelle-Guinée n'entraîne aucun travail pour notre carte codant les couleurs, ce qui n'est pas le cas si nous décidons de nous installer au Pôle Nord.

Les cartes auto-organisatrices sont des **mémoires associatives**. Elles fournissent des réponses à des questions en utilisant les informations contenues dans la question. Par exemple, si l'on veut savoir quel est le mot de 10 lettres, le plus fréquent du livre, se terminant par « s », il suffit de fournir à la carte l'entrée « - - - - - s ». Le neurone qui gagnera la compétition est celui qui code ce mot (fig. 3.12).

14 Adam Jacot de Boinod, *The Meaning of Tingo (and other extraordinary words from around the world)*, éditions Penguin Reference, 2006, 224 pages.
ISBN 978-0141021980

QU'EST-CE QUE NOTRE CERVEAU ?

En combinant plusieurs cartes auto-organisatrices ensemble, il est possible de créer des représentations très précises du Monde. La Théorie neuronale de la Cognition, présentée au prochain chapitre, montre comment.

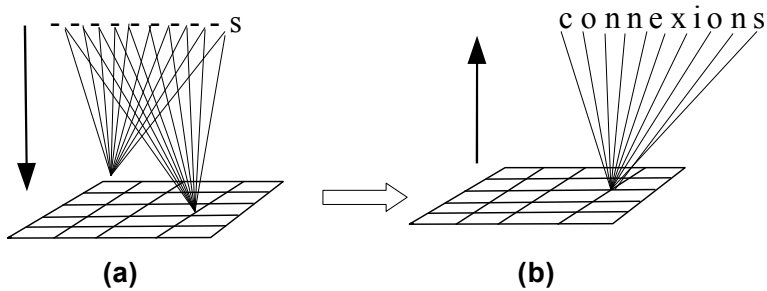


Figure 3.12 – La carte auto-organisatrice est une mémoire associative. Pour obtenir une réponse, il faut fournir une partie de cette réponse.

(a) Si la réponse cherchée est le mot de 10 lettres le plus fréquent de ce livre se terminant par la lettre « s », la question est une activation de la 10^{ème} connexion avec la lettre « s ». Cette activation est envoyée à tous les neurones de la carte.

(b) Il suffit alors de décoder les connexions du neurone gagnant vers les entrées pour connaître le mot recherché.

CONSCIENCE, INTELLIGENCE, LIBRE-ARBITRE ?

4. Qu'est-ce que la Théorie neuronale de la Cognition ?

Le chapitre précédent a montré que notre cortex était constitué de centaines de cartes auto-organisatrices (fig. 3.2). La Théorie neuronale de la Cognition (TnC) montre comment l'assemblage de ces cartes auto-organisatrices permet l'émergence de la Cognition. La **Cognition** est l'ensemble des activités « mentales » : parler, lire, penser, jouer, rire, avoir peur, respecter la loi ou la contourner, apprendre de nouvelles choses ou les oublier, mentir, fantasmer, trahir, aimer, se sacrifier, donner, prendre, etc.

Lorsque **deux cartes auto-organisatrices** sont placées l'une après l'autre, la seconde carte représente des données plus complexes, par exemple des combinaisons de caractéristiques extraites par la première carte. Si la première carte code¹⁵ les couleurs apparaissant dans l'image rétinienne, alors la seconde carte peut coder les proportions relatives : « c'est plutôt vert », ou « vert et rouge à parts égales », etc. (fig. 4.1).

Avec **trois cartes auto-organisatrices**, il devient possible de réaliser ce que les chercheurs nomment la « **fusion de données** ». Il s'agit en fait de fusionner des données issues de modalités différentes comme la couleur et la forme, ou la vision et l'audition. Par exemple, prenons une carte codant les couleurs, une seconde codant les formes des objets vus et une troisième carte qui reçoit les connexions des neurones des deux premières. Si, dans l'environnement, il existe des objets de forme ronde

15 Une carte auto-organisatrice est un automate – rien de plus ! Ses neurones entrent en compétition et c'est nous – **observateurs extérieurs** – qui associons un **label**, voire même une sémantique, aux neurones gagnants. Nous disons qu'ils sont « représentatifs » de l'information qui les active. Les neurones pour leur part, reçoivent des activations et, s'ils sont activés à leur tour, propagent l'activation aux suivants. C'est tout !

et de couleur bleue, d'autres de forme triangulaire et rouge, et aucun carré vert, alors certains neurones de la troisième carte seront actifs uniquement pour des ronds bleus, d'autres pour des triangles rouges et aucun neurone ne sera actif lorsque l'image d'un carré vert sera montrée (fig. 4.2).

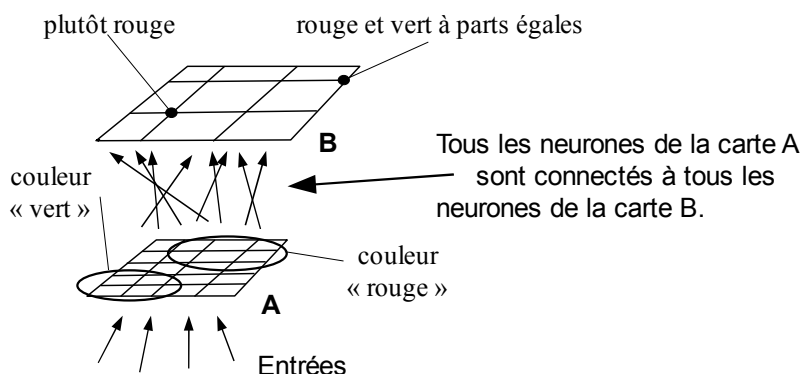


Figure 4.1 – Deux cartes auto-organisatrices (l'une après l'autre) permettent d'extraire des relations complexes entre les données. Ici, B extrait des proportions d'activation entre diverses zones de la carte A.

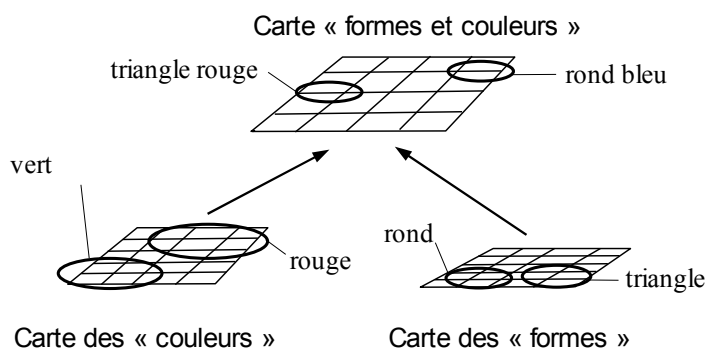


Figure 4.2 – Trois cartes auto-organisatrices permettent la fusion de données. Il suffit que les données traitées par chacune des deux premières cartes appartiennent à des modalités différentes (par exemple, la forme et la couleur), et qu'elles alimentent la troisième carte. C'est cette dernière carte qui réalise la fusion de données.

La carte codant les objets d'après leur forme et leur couleur est d'un **niveau d'abstraction** plus élevé que la carte des couleurs ou la carte des formes. Il est donc possible d'établir une **hiérarchie** en fonction du niveau d'abstraction. Pour connaître le niveau d'abstraction d'une carte, il suffit de compter le nombre de cartes entre elle et les capteurs sensoriels. Dans le cas de la lecture d'un mot, les recherches actuelles¹⁶ montrent que la carte sur laquelle les mots sont codés est d'un niveau d'abstraction égal à 7. Les étapes de traitement de l'information depuis l'œil sont les suivantes : centre on-off, barre, angle, forme, lettres, bigrammes, mots (fig. 4.3).

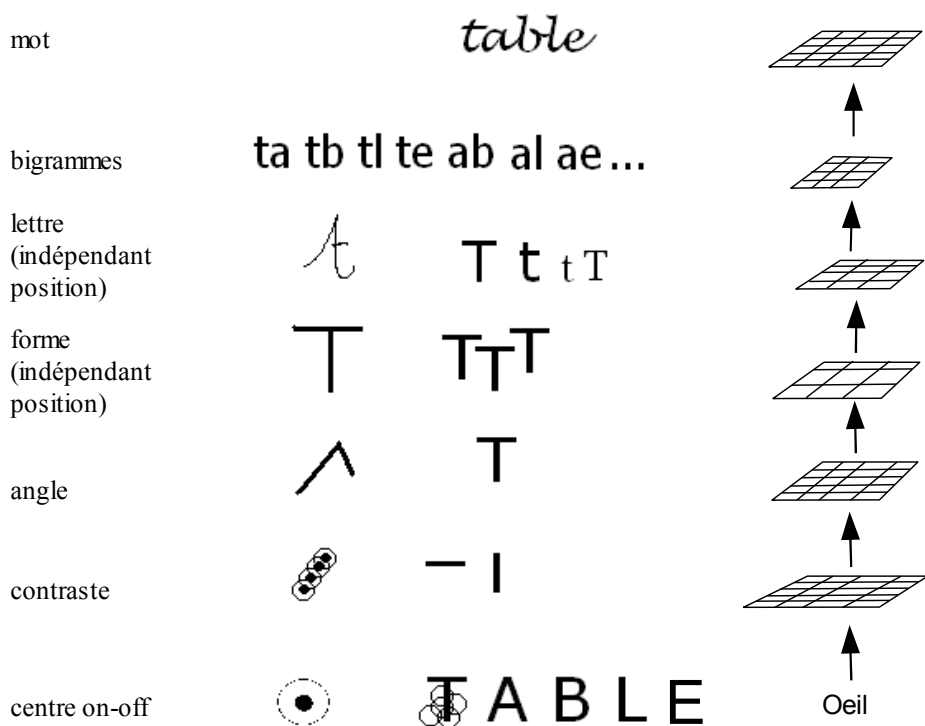


Figure 4.3 – Six niveaux de cartes auto-organisatrices sont nécessaires pour passer de l'image sur la rétine à la reconnaissance orthographique d'un mot (le 1^{er} niveau est réalisé par l'œil), d'après Dehaene¹³.

16 Dehaene, S., Cohen, L., Sigman, M., & Vinckier, F. (2005). The neural code for written words: a proposal. *Trends Cogn Sci*, 9(7), 335-341.

Les mots écrits, les mots entendus, les odeurs, la vision d'objets inanimés ou de visages font partie de notre quotidien. Ils activent nos sens et sont traités par le cortex. Il existe donc une carte pour les mots écrits, une autre pour les mots entendus, une troisième pour les odeurs, une quatrième pour les objets inanimés, une cinquième pour les visages, etc. Bref, beaucoup de cartes codant énormément de dimensions de la réalité. Il y a des cartes supplémentaires, de niveau d'abstraction plus élevé, qui reçoivent les informations de toutes ces cartes et les fusionnent. Les neurones de ces cartes de niveau supérieur sont activés dans des **situations précises**.

Par exemple, certains neurones sont activés lorsque nous nous trouvons dans une situation où il y a, en même temps :

- le mot « arbre » écrit,
- le mot « arbre » entendu,
- un arbre visible,
- une odeur de forêt et
- le visage de la personne qui nous a fait découvrir ce mot-là.

Ces neurones sont aussi activés lorsqu'une partie seulement de ces informations est disponible, par exemple uniquement la vue d'un arbre. C'est une parfaite illustration des capacités des mémoires associatives.

Les neurones codant la situation « arbre » peuvent être interprétés comme codant le **concept** d'« Arbre ». Qu'est-ce qu'un concept ? C'est une abstraction qui rassemble sous la même dénomination les instances d'un même objet ou d'une même idée (fig. 4.4). Le concept de « Arbre » est activé dès qu'un arbre - quelque soit son espèce (chêne, sapin, mimosa, ginko, etc.) - est vu, ou que le mot arbre est lu ou entendu, ou qu'un arbre est dessiné, mimé, évoqué, sous-entendu...

Mes neurones codant pour le concept « Arbre » ont été construits à partir d'**expériences vécues** qui me sont personnelles et uniques. Pour moi, un arbre est d'abord un cerisier. Il est dans le jardin de mes grands-parents. Son tronc est incliné et ses feuilles ne sont pas si nombreuses. Bien évidemment je suis capable de généraliser et de reconnaître tout arbre pour ce qu'il est. Je suis certain que votre définition d'un arbre est tout aussi personnelle que la mienne. En fait, c'est le cas pour chacun et chacune d'entre nous. Nous devons donc en

conclure qu'il **n'existe pas**¹⁷ de **sémantique universelle** partagée par tous. La sémantique est individuelle ! Pas étonnant que nous nous comprenions si peu, puisque nos définitions pour les mots et les concepts sont personnelles.

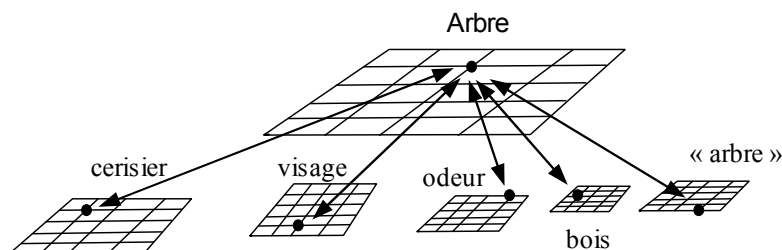


Figure 4.4 – Un « concept » implique l'activation de multiples neurones au sein de plusieurs cartes.

Nous avons vu comment des neurones représentent des concepts ou des objets définis selon plusieurs dimensions sensorielles chez un individu. Du fait que nous sommes des individus vivant en **société**, nous partageons en permanence avec autrui ce que nous avons en tête ou sous les yeux. Le **langage** est né de ce partage comme nous le verrons au chapitre 8.

La carte auto-organisatrice est un formidable outil pour représenter un espace multidimensionnel en 2-D seulement, tout en respectant les principales caractéristiques de fréquence d'apparition et de voisinage des informations. Malgré tout, des informations liées les unes aux autres peuvent être représentées sur des neurones éloignés les uns des autres sur une même carte, ou appartenir à des cartes différentes. La **hiérarchie de cartes auto-organisatrices** permet de regrouper les informations liées. Au bas de la hiérarchie, il s'agit d'une simple fusion de données (rond bleu), tandis que vers le haut il s'agira de labelliser des situations et créer des concepts (« Arbre » ou « la Justice »). Le filtre de nouveauté que réalise chaque carte auto-organisatrice (cf chapitre 7) permet à des

17 Certaines langues ne permettent pas d'exprimer certains concepts. Ces concepts sont-ils absents chez les peuples en question ? Ils le sont car sinon ils auraient reçu un symbole. A partir de quoi nous devons en déduire que nombre de concepts que nous trouvons naturels – comme le futur ou la propriété personnelle – ne le sont pas ! Ils sont culturels.

situations très rares de parvenir à l'étage de traitement adapté afin d'auto-organiser cette carte.

Il y a un **ordre** dans l'organisation hiérarchique des cartes :

- les cartes du niveau inférieur doivent être organisées avant que l'information issue de ces cartes puisse organiser le niveau suivant (les formes et les couleurs avant les formes colorées). L'exemple de la lecture globale, que nous verrons à la page suivante, est particulièrement édifiant ;
- les corrélations fréquentes sont apprises plus vite (et donc plus tôt) par les niveaux les moins élevés. A chaque niveau hiérarchique, la carte est organisée par des informations moins fréquentes (dans le Monde) que le niveau précédent. Comme il faut toujours autant de données pour organiser une carte, l'apprentissage prendra plus longtemps.

Lorsque l'information parvient au **niveau hiérarchique le plus haut** :

- soit l'information correspond à ce niveau de représentation et l'activation générée au sein de cette carte va disparaître par le jeu des boucles de rétro-action (filtre de nouveauté) ;
- soit l'information est de plus haut niveau encore que le niveau courant et l'activation engendrée par cette information ne disparaît pas, mais continue vers les cartes suivantes (de niveau d'abstraction supérieur) afin de les organiser. L'information devient persistante (le terme « rémanente » est plus exact) puisqu'elle ne disparaît pas (absence de synchronisation). Si le plus haut niveau actuel permet la verbalisation, alors nous parlons. Un spectateur dirait que nous en avons conscience !

Plus le temps s'écoule avec cette information rémanente dans nos circuits neuronaux, plus d'hypothèses sont testées pour y répondre. Le moment où l'activation rémanente disparaît (du fait des boucles de rétro-action) correspond à l'instant où la réponse à la question a été trouvée. Cette réponse est d'une **certitude** plus ou moins grande en fonction de l'**activation résiduelle** dans les circuits neuronaux. Une certitude totale fait disparaître complètement l'activation résiduelle.

Tant que la « réponse » n'a pas été trouvée, elle est cherchée. Au départ, ce sont les circuits neuronaux les plus « proches » (les plus évidents), puis au fur et à mesure que le temps passe, des circuits plus

lointains, dont le potentiel croît plus lentement, vont à leur tour être activés.

Tant que rien de nouveau ne vient remplacer cette information, nous cherchons consciemment une solution. Lorsqu'une nouvelle information arrive elle aussi au plus haut niveau (sans avoir été arrêtée), elle semble prendre le pas sur l'information précédente puisque nous nous mettons à y penser consciemment. La recherche précédente (ancienne) n'est PAS abandonnée pour autant, elle est seulement masquée par la nouvelle. La « solution » à cette ancienne question peut arriver plus tard, voire le lendemain matin par exemple.

Ce que nous appelons « réfléchir » ou « méditer », sont des actions qui créent des **situations virtuelles** - similaires à des situations qui n'arrivent pas ou très rarement. Ces situations virtuelles augmentent la fréquence d'apparition de ces mêmes situations (normalement rarissimes) et permettent aux cartes de s'organiser. Ces cartes, parce qu'elles représentent plus correctement ces informations (normalement rares), fournissent une réponse plus adaptée lorsque la situation se présente à nouveau. Une réponse, c'est un acte moteur, perçu par autrui comme un comportement. Le chapitre 6 explique comment nos comportements sont produits.

L'échec lamentable de la lecture « globale » est un « cas d'école » vis-à-vis de la nécessité de respecter un ordre dans l'apprentissage (les régularités de bas niveaux avant celles de hauts niveaux) et d'aider à la découverte des régularités par un apprentissage supervisé. Les enfants devaient retrouver seuls que les lettres existent, qu'elles se regroupent par syllabe, que ces syllabes font les mots, que les mots ont des déclinaisons, etc. Autant de cartes corticales à organiser, qui ne peuvent l'être que si l'on fournit les bons exemples d'apprentissage : les lettres individuellement, les syllabes individuellement, les mots individuellement, les déclinaisons d'un mot à la fois, etc., le tout dans un ordre chronologique et logique (fig. 4.5).

Pour en convaincre le lecteur, un petit calcul de complexité. Il y a environ 10 barres et arrondis pour créer n'importe quelle lettre (A = 3 barres, B = 1 barre et 2 arrondis, etc.). Il y a 26 lettres, ce qui donne environ 70 syllabes fréquentes, qui permettent l'accès aux 8 000 mots (en moyenne 3 syllabes par mot : $70 \times 70 \times 70 \cong 350\,000$) dont nous avons

besoin pour être un lecteur « expert » (bien qu'il y ait 40 000 mots dans un dictionnaire de la langue française). Donc, à retenir pour la carte des lettres : 26, pour la carte des syllabes : 70, pour la carte des mots : 8 000. Si l'apprentissage est « global », alors l'enfant est confronté de prime abord avec les mots. Certes, on commence petit : 300 mots au CP, 700 mots au CE1, 1 200 mots au CM1, 8 000 mots à partir de la classe de sixième. Mais comme il n'y a pas eu d'organisation hiérarchique dans l'apprentissage de la lecture, les enfants doivent reconnaître les mots directement depuis barres et arrondis.

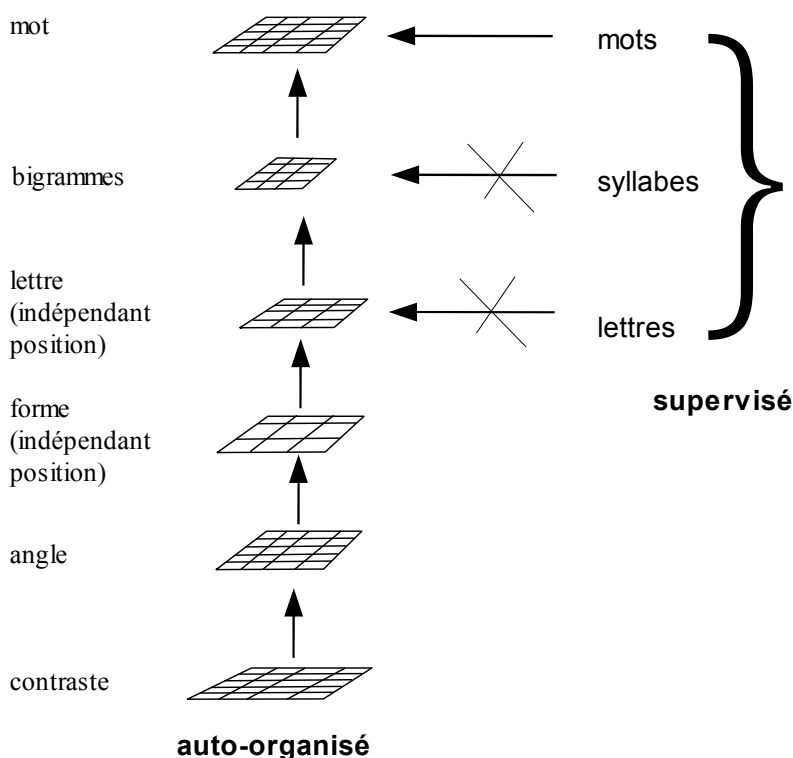


Figure 4.5 – La méthode d'apprentissage de la lecture dite « globale » fait disparaître deux étapes supervisées. L'acquisition de la lecture devient alors pratiquement impossible à l'apprenti lecteur.

La longueur moyenne d'un mot est de 5 lettres. Il y a 10 positions de

barre par lettre et autant pour les arrondis. Si on considère qu'une lettre ne contient qu'une barre et qu'un arrondi (ce qui est peu), alors il y a $10 \times 10 = 100$ « lettres » possibles, et $(100)^5$ (100 puissance 5, soit 10 milliards) mots de 5 lettres. Chaque mot est indépendant des autres, il faut en apprendre 8 000 parmi 10 milliards possibles. Tâche, nous en conviendrons, beaucoup beaucoup plus ardue que 8 000 parmi 350 000 possibles. Impossible donc de pester après l'orthographe inexistante des trentenaires d'aujourd'hui qui ont eu le privilège de « découvrir » la lecture d'une manière globale ! Leur représentation des mots est discontinue, puisqu'ils ne disposent que d'un nombre de données très réduit (8 000 par rapport à 10 milliards, soit 1 mot sur 1 million). La situation est bien plus favorable aux « syllabistes » qui, avec 1 mot sur 40 possibles, utilisent le voisinage orthographique pour la lecture.

CONSCIENCE, INTELLIGENCE, LIBRE-ARBITRE ?

5. Enfance, adolescence : des passages obligés ?

Le chapitre précédent a mis en évidence un ordre dans l'organisation des cartes auto-organisatrices :

1. Les cartes du niveau inférieur doivent être organisées avant que l'information issue de ces cartes puisse organiser le niveau suivant : les formes et les couleurs avant les formes colorées, les lettres avant les syllabes, les syllabes avant les mots, etc.
2. Les corrélations fréquentes sont apprises plus vite (et donc plus tôt) par les niveaux d'abstraction les moins élevés. A chaque niveau, les cartes sont organisées par des informations moins fréquentes (dans le Monde) par rapport au niveau précédent. Comme le nombre d'expériences nécessaire pour organiser une carte est constant, l'apprentissage prendra plus longtemps si les régularités à mémoriser sont « subtiles » (c.-à-d. rares).

Tous les hommes (les animaux aussi), ceux d'aujourd'hui comme ceux d'hier, ont une enfance. C'est une période de leur développement durant laquelle ils ne sont pas autonomes. L'enfant a besoin de sa mère, ou d'une mère de substitution, pour grandir correctement et devenir un adulte à part entière.

Le cas des enfants-loups illustre ce qu'il advient lorsque l'enfant grandit sans l'entourage d'un adulte de son espèce. L'étude de ces cas est cependant difficile. Il y a énormément de cas litigieux (voire d'escroqueries), d'autres pour lesquels il semble que l'enfant présentait déjà des troubles mentaux lors de l'abandon. Les cas les plus récents – et donc les moins sujets à caution – sont (par exemple) ceux de :

- Oxana Malaya (Ukraine, trouvée en 1991) qui a vécu avec des chiens entre 3 et 8 ans, dans l'arrière-cour de la maison de ses parents alcooliques.

- Saturday Mthiyane (province du Kwazulu-Natal en Afrique du Sud, trouvé en 1987 à l'âge de 5 ans) qui a passé au moins un an au milieu des singes.
- John Ssebunya (Ouganda, trouvé en 1991 à l'âge de 5 ans) qui a passé 3 ans avec des singes.

Tous ces enfants éprouvent des grandes difficultés à maîtriser le langage et à établir des relations sociales par la suite. Ceci accrédite l'hypothèse qu'il y a un moment avant 7 ans (petite enfance) dans le développement de l'individu où certaines choses doivent avoir lieu, sinon il sera très (trop) difficile de les acquérir après. L'enfance est donc cette **période critique** durant laquelle l'apprentissage du langage et de la socialisation est facile (fig. 5.1).

Lorsque la différence entre le comportement attendu d'un adulte et celui d'une personne est réduite, alors cette dernière est considérée comme se comportant comme un adulte. Lorsque nous faisons peu attention à autrui, même si quelques détails ne sont pas typiquement adultes, nous ne les remarquons pas, et donc autrui est facilement adulte. A l'inverse, pour les gens qui font attention à nous, les détails infantilisants sont rapidement repérés et nous restons des enfants. Vous devenez adulte pour des personnes qui vous connaissent peu, bien avant d'accéder au même statut de la part de votre entourage proche. Eventuellement, si vos parents font trop attention à vous, vous ne serez jamais totalement adulte pour eux.

L'enfance est donc un qualificatif peu précis, dépendant de l'intérêt que vous portez à la personne observée. Il me semble plus exact de dire que l'enfance correspond à la période durant laquelle s'organisent les premières cartes corticales impliquées dans les comportements motivés, le langage et les relations sociales (cf. chapitre 6).

L'adolescence suit l'enfance et précède l'âge adulte. C'est la période du « non » des enfants. C'est une période difficile puisque l'adolescent entre en conflit avec les *desiderata* des parents. Nous verrons au chapitre 10 que ce n'est ni la faute des parents, ni celles des adolescents.

L'adolescence, comme l'enfance, est universelle et se rencontre à toutes les époques et dans toutes les cultures. C'est une étape fondamentale de l'organisation du cortex, plus précisément des cartes auto-organisatrices codant des « concepts clefs » tels que : liberté, droit, devoirs, existence autonome, etc.

ENFANCE, ADOLESCENCE : DES PASSAGES OBLIGES ?

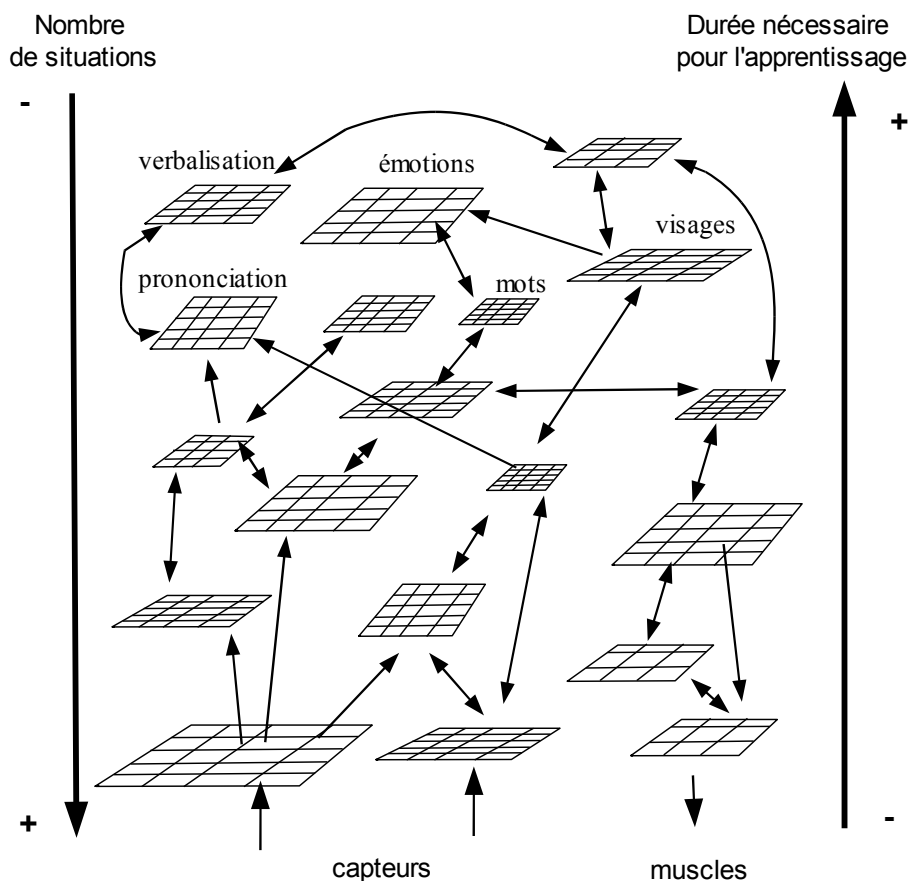


Figure 5.1 – Il y a un ordre et un timing précis dans l'organisation des cartes auto-organisatrices. Les cartes s'organisent en fonction des régularités qu'elles perçoivent dans les données reçues. Certaines cartes doivent s'organiser avant un âge limite (7 ans pour les cartes liées au langage et à la socialisation).

Lorsque ces concepts sont découverts, ils sont *ipso facto* utilisés pour analyser le Monde. Les situations du Monde sont bien évidemment complexes et il y a toujours au moins un aspect de celles-ci qui n'est pas conforme à la définition du concept clef impliqué. Cet aspect induit l'attention (cf. chapitre 7) et il est normal que l'adolescent veuille agir pour changer la situation et la rendre plus conforme à son attente (à SA définition). Ce faisant, il viole évidemment l'ordre établi. Son

comportement découle de fait d'une analyse simpliste de la situation vis-à-vis de concepts trop nouveaux et encore trop manichéens. Avec l'augmentation du nombre de situations vécues, son codage des concepts clefs devient plus précis. Du coup, il y a moins d'aspects dans la situation qui retiennent l'attention, et donc moins de sujets de disputes.

L'adolescence est un passage obligé de la construction d'une personne capable de comprendre les concepts clefs. La durée de l'adolescence dépend, non pas du temps qui passe, mais du nombre de situations vécues impliquant lesdits concepts. La différence entre l'idéalisation initiale associée à la découverte de ces concepts clefs et la réalité, génère un surcroît d'activité neuronale chez l'adolescent, qui induit fatigue et stress. Il est normal qu'il se comporte alors de manière à réduire ce surcroît d'activité et qu'il essaie de changer le cours des choses (rébellion) afin de les adapter à sa compréhension (simpliste) et donc à ses attentes.

Nous verrons dans le prochain chapitre (6) comment nos comportements dépendent des buts que nous nous fixons.

6. La motivation, source de nos comportements ?

Un comportement, c'est une **succession d'actions** qui paraissent liées les unes aux autres. Chacune de nos actions appartient de fait à un ou plusieurs comportements. Les comportements possibles sont nombreux. Chaque verbe décrit au minimum un comportement : manger, boire, courir, marcher, sauter, attaquer, rire, aimer, parler, discuter, marchander, etc.

Au sein d'un comportement, les actions réalisées ne sont jamais choisies au hasard. Elles peuvent toutes être justifiées par rapport à un **but**. Si à partir d'un certain moment ce n'est plus le cas, c'est que le comportement a changé et les actions deviennent justifiables par rapport à un nouveau but. En fait, nos comportements sont construits par le but que nous nous fixons.

Par exemple, avoir pour but « rien autour » génère un comportement d'évitement d'obstacles très efficace. Ce but correspond à une **situation précise** (situation-but) où il n'y a « rien autour », et donc à un neurone particulier activé sur la carte codant les situations (le neurone-but). La situation actuelle – où il y a par exemple un obstacle en face – active un autre neurone de cette carte. Si, à chaque instant, parmi toutes les actions possibles, l'**action choisie** (et réalisée) est celle qui modifie la situation actuelle en la rapprochant autant que faire se peut de la situation « rien autour », alors la situation-but sera finalement atteinte. L'observateur interprétera la succession d'actions comme un comportement d'évitement d'obstacles très efficace (fig. 6.1), dont nous savons maintenant qu'il est construit à partir de la situation-but « rien autour »¹⁸.

18 C. Touzet, "Modeling and Simulation of Elementary Robot Behaviors using Associative Memories", *International Journal of Advanced Robotic Systems*, Vol 3 n° 2, June 2006.

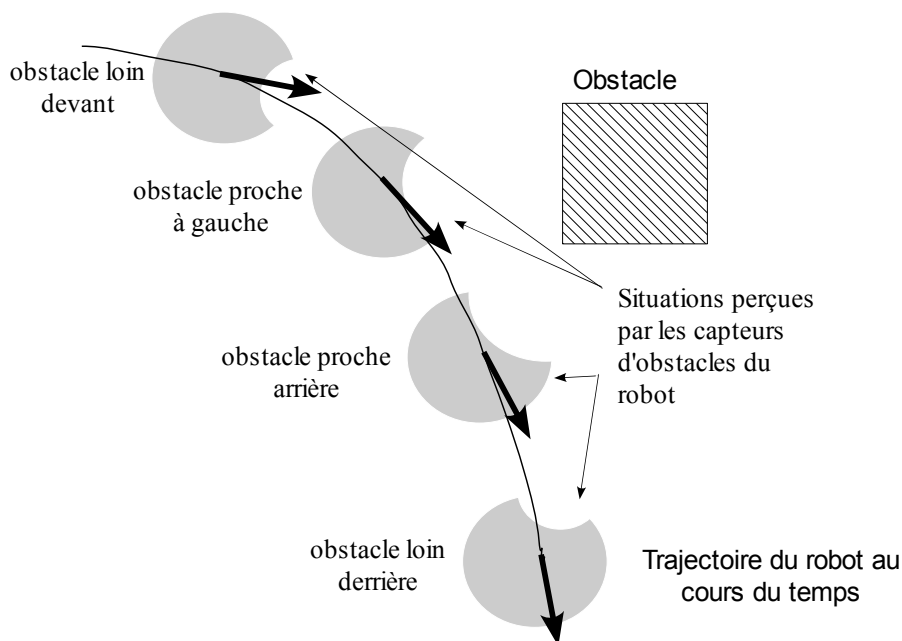


Figure 6.1 – Comportement d'évitement d'obstacles construit à partir d'un but à atteindre « pas d'obstacle en vue ». Le robot arrive face à l'obstacle, ses capteurs le perçoivent. Il tourne et évite l'obstacle. En grisé, les distances mesurées par les capteurs du robot vis à vis des obstacles éventuels.

Passer d'une situation à la suivante, c'est au niveau de la carte auto-organisatrice passer d'un neurone à son voisin. Cette mise en correspondance entre situations et neurones est possible parce que la carte auto-organisatrice respecte la **topologie** de l'espace des situations (cf. chapitre 2). Des situations voisines dans le temps (quelques instants d'écart) sont très similaires car le Monde est continu (fig. 6.2). Les neurones codant pour des situations temporellement proches sont des neurones voisins sur la carte, voire éventuellement le même neurone.

Si, comme pour l'exemple précédent, la situation-but est « rien autour », mais que nous sommes poursuivis, alors notre comportement sera celui de quelqu'un qui fait tout ce qu'il peut pour ne pas être attrapé. Chaque action nous éloigne de notre poursuivant car ce dernier est considéré comme un obstacle. La **même situation-but** peut donc générer des **comportements différents**, ici évitement d'obstacle ou fuite, selon le

contexte. Chaque neurone de la carte auto-organisatrice est susceptible d'être représentatif d'une situation-but, à l'origine d'un ou plusieurs comportements. En choisissant une autre situation-but, telle que « un obstacle à droite », alors le comportement obtenu sera celui de quelqu'un qui recherche un mur et le suit en le maintenant à droite...

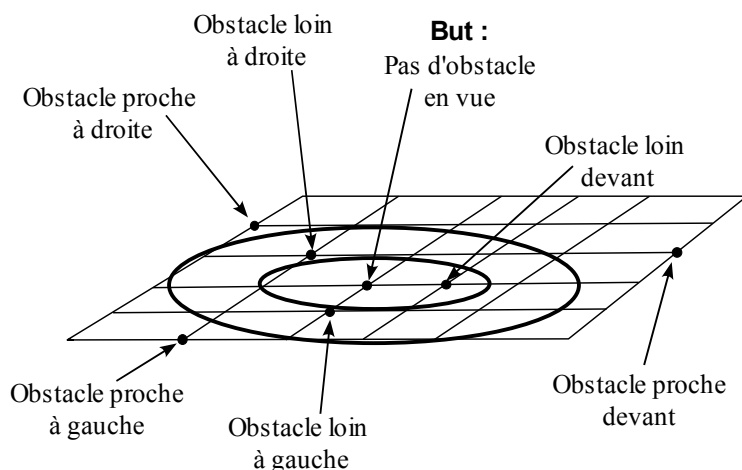


Figure 6.2 – Le voisinage conservé par la carte garantit que les situations voisines sont voisines sur la carte. Il est donc toujours possible de trouver une situation voisine de la situation actuelle qui soit plus proche de la situation-but.

En choisissant un but sur une carte codant le niveau sonore, le comportement généré est celui de trouver et maintenir le niveau sonore désiré, en s'éloignant ou en se rapprochant de la source sonore, tant pour tenir compte des fluctuations de la source (notre interlocuteur parle plus ou moins fort) que de celles d'éventuelles sources parasites (les autres conversations dans la pièce).

En montant dans la hiérarchie des **niveaux d'abstraction**, il est possible de sélectionner, au sein d'une carte de haut niveau, un but tel que « être riche ». Les actions choisies par l'individu sont alors celles qui rapprochent sa situation financière actuelle de la situation « être riche ». Bien évidemment, ce comportement a une durée dans le temps extrêmement longue. A moins de gagner très vite à la loterie, cela peut prendre une vie entière, voire plus. Ce comportement sera donc

interrompu par d'autres en fonction des situations vécues, car la **priorité** doit souvent être donnée à des comportements moins abstraits comme « manger » ou « éviter de se cogner ».

Vous vous demandez peut-être quelles sont les **actions** à réaliser pour aboutir à la situation « être riche » ? Cela dépend de votre histoire personnelle. Dans une situation où il faut acheter quelque chose, certains choisiront de marchander, d'autres choisiront d'acheter en gros pour revendre le reste au détail, d'autres reporteront leur achat, voire inventeront quelque chose d'équivalent qu'ils fabriqueront et vendront à leur tour, etc.

Nous parlons d'actions. C'est nouveau, car jusqu'à présent toutes les cartes auto-organisatrices présentées codaient des **situations**. Il existe cependant des cartes modélisant l'**espace des actions et codant des actions**. Ces cartes forment le cortex moteur, d'où elles envoient des informations vers les muscles afin de les contracter.

A chaque instant, depuis notre naissance, nous agissons. Comme le Monde est **cohérent**, l'effet d'une action sur le Monde est toujours le même. Si j'avance vers l'obstacle, il s'approche, et cela est vrai aujourd'hui, mais aussi hier, que l'obstacle soit bleu ou vert, etc.

Comme le Monde est **continu**, une action de courte durée va peu modifier la situation actuelle. Cette petite modification est à mettre au compte de cette action. Des cartes vont donc s'auto-organiser pour représenter **les actions associées à leurs effets** sur la situation, un effet par action (fig. 6.3). Cet effet est la variation entre une situation et la suivante.

Cartes des situations et cartes des actions travaillent en synergie :

1. La première carte (des situations) fournit la différence entre la situation actuelle et la situation voisine la plus proche (dans la direction de la situation-but) à la seconde carte.
2. Cette seconde carte (des actions) fournit l'action à accomplir, qui est réalisée.
3. Ceci a pour effet de modifier la situation courante : retour à l'étape 1. (Le nouveau neurone voisin dans la direction du neurone-but est trouvé, qui permettra d'obtenir la nouvelle action, et ainsi de suite).

LA MOTIVATION, SOURCE DE NOS COMPORTEMENTS ?

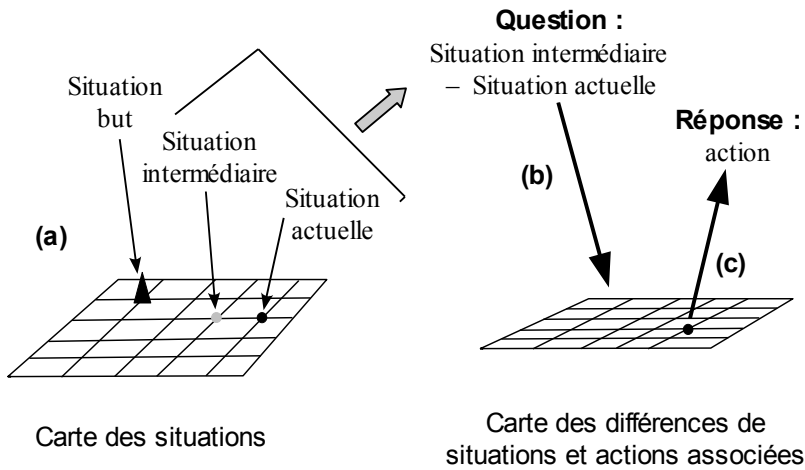


Figure 6.3 – (a) Le but et la situation actuelle définissent la situation intermédiaire désirée. (b) La variation entre la situation désirée et la situation courante permet de sélectionner un neurone qui code pour l'action correspondante (c).

Un comportement est réalisé jusqu'à ce que la situation-but soit atteinte. A cet instant, une nouvelle situation-but peut émerger, générant un nouveau comportement. Ce que nous appelons « un » comportement est souvent la **combinaison** de plusieurs comportements élémentaires.

Par exemple le comportement « boire » implique de :

1. me lever,
2. aller jusqu'à la cuisine,
3. trouver un verre,
4. ouvrir un robinet,
5. mettre le verre sous le jet d'eau,
6. fermer le robinet quand le verre est plein,
7. porter le verre à mes lèvres,
8. boire.

La situation-but de chaque comportement élémentaire est facile à identifier. Ce qui est moins facile à comprendre c'est comment se construit **automatiquement** la succession des buts intermédiaires (fig. 6.4).

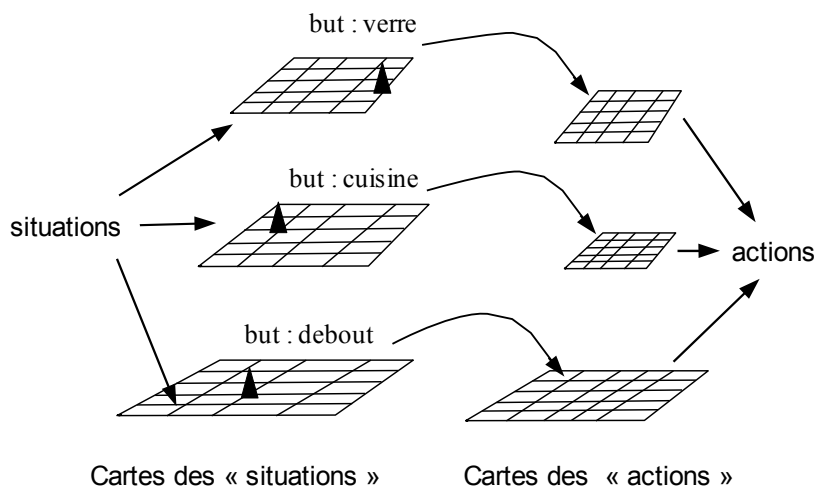


Figure 6.4 – Un comportement complexe : une somme de comportements élémentaires.

Des capteurs internes identifient un manque d'eau, c'est la soif. A partir de cette information, l'objectif est de faire disparaître cette activation neuronale. Le fait de boire a, par le passé, été efficace. Dans la situation actuelle (assis à mon bureau dans l'appartement), comment faire pour boire ?

Je bois plusieurs fois par jour. J'ai donc vécu et mémorisé de nombreuses situations de ce type. La situation actuelle (lieu : à mon bureau, date : 10 h du matin) ajoutée à la soif forment une combinaison d'informations spécifique qui initie instantanément une recherche en mémoire. Cette recherche trouve les situations passées qui sont, à la fois, les plus proches de la situation actuelle et les plus fréquentes. Il s'agit d'une optimisation prenant en compte deux facteurs : **exactitude ET fréquence**.

Le premier souvenir trouvé est celui où quelqu'un m'a gentiment apporté à boire à mon bureau (inutile aujourd'hui car je suis seul à la maison), le second est celui où j'avais été prévoyant avec une bouteille d'eau à portée de la main sur mon bureau (cela n'a pas été le cas aujourd'hui). Un troisième souvenir est lié à la cuisine, c'est celui qui déclenche le comportement en positionnant un but dans la carte. En continuant à réfléchir à la situation, je me serais aussi rappelé qu'il y avait un robinet dans la salle de bain – laquelle est plus proche que la

LA MOTIVATION, SOURCE DE NOS COMPORTEMENTS ?

cuisine. Mais je bois beaucoup moins souvent dans la salle de bain que dans la cuisine, j'ai moins de souvenirs et donc cette quatrième solution émergera plus tardivement. Le but final est donc de boire dans un verre à la cuisine. Entre la situation finale et la situation actuelle, il y a de nombreux buts intermédiaires, chacun générant un comportement élémentaire :

n°	Situation-but	Comportement élémentaire
1	station debout	se lever de la chaise
2	position couloir	sortir de la chambre
3	position cuisine	avancer jusqu'à la cuisine
4	position devant placard	avancer jusqu'au placard
5	ouverture placard	tirer la poignée du placard
6	verre dans placard	attraper un verre dans le placard
7	position devant robinet	se déplacer du placard à l'évier
8	verre vide sous le robinet	avancer le verre sous le robinet
9	ouverture du robinet	tendre la main et ouvrir en tournant à gauche
10	verre plein sous le robinet	maintenir le verre sous le jet d'eau
11	arrêt du robinet	tendre la main et fermer en tournant vers la droite
12	verre plein d'eau à mes lèvres	porter le verre à ses lèvres

L'enchaînement 1 à 12 est construit automatiquement. Au niveau de la **carte représentant les lieux dans la maison**, quel est le neurone voisin de celui qui code la situation actuelle « bureau », dans la direction du neurone codant la situation finale « cuisine » ? Il s'agit de celui codant pour la situation « couloir ». Nous dirons donc que la situation voisine de la situation actuelle dans la direction de la situation finale est « le couloir ». Une même carte peut être utilisée par plusieurs comportements élémentaires, par exemple ici : atteindre le couloir, puis la cuisine et enfin le placard.

La variation entre la situation actuelle (assis au bureau) et le couloir est

tellement grande, qu'il n'existe aucune action permettant de passer directement de la chaise du bureau au couloir. La carte des actions ne fournit aucune réponse : **l'activation** ne se **stabilise** sur aucun neurone, il n'y a pas **résonance** entre les deux cartes. C'est normal puisque pour gagner le couloir, il faut faire 2 mètres dans la direction de la porte du bureau. Pour faire ces 2 mètres, il faut marcher. Pour marcher, il faut être debout. Pour être debout, il faut se lever de la chaise. C'est donc au minimum 3 actions différentes qui doivent être réalisées (se lever, être debout, marcher).

Sans résonance, il n'y a pas d'activation spécifique au sein de la carte motrice, et donc aucune action n'est réalisée par les muscles. De fait, la situation actuelle ne change pas. Comme la soif est toujours là, l'activation du neurone voisin codant le couloir **persiste**. Les activations « assis au bureau » et « couloir » activent d'autres neurones sur **d'autres cartes**.

Parmi les autres cartes alimentées par cette information, la carte spatiale (fig. 6.4) modélise les positions des objets selon des coordonnées égo-centrées (direction et distance par rapport à soi). Cette carte indique pour le « couloir » : 2 mètres en arrière. Cette information, envoyée à la carte motrice associée, donne l'action « faire demi-tour et marcher ». Cette action n'est pas immédiatement possible. La carte des positions du corps envoie à une troisième carte motrice, codant variations de positions du corps et action associée, la différence entre la situation actuelle « assis » et la situation « demi-tour ». Il y a alors résonance : l'activation correspondant à l'action de se lever est envoyée aux muscles. Les autres actions suivront dans l'ordre.

Les seules actions codées sur les cartes motrices sont celles qui existent, déjà réalisées maintes fois auparavant. De ce fait, dès que la variation entre deux situations est trop grande (discontinuité), aucune action n'est trouvée. La situation actuelle ne change donc pas, ce qui laisse le temps à d'autres cartes de situations et d'actions de raffiner le traitement de l'information. Ce délai permet de retrouver au niveau des cartes la **continuité** d'actions qui permet de passer d'une situation à l'autre (cf. chapitre 1).

En résumé, nos comportements sont toujours motivés puisque construits par les buts que nous nous fixons. Nous verrons cependant que ces buts nous sont imposés (cf. chapitre 10).

7. Faire attention : pourquoi, comment ?

La vision d'un arbre produit une activation neuronale dans une succession de cartes auto-organisatrices jusqu'à l'activation finale d'un neurone représentatif du concept « Arbre » (cf. chapitre 4). Dans le même temps, il y a activation de tous les éléments formant ce concept, notamment le son (mot prononcé). Ceci est dû aux **connexions réciproques** qui alimentent les cartes de niveaux d'abstraction précédents (fig. 7.1).

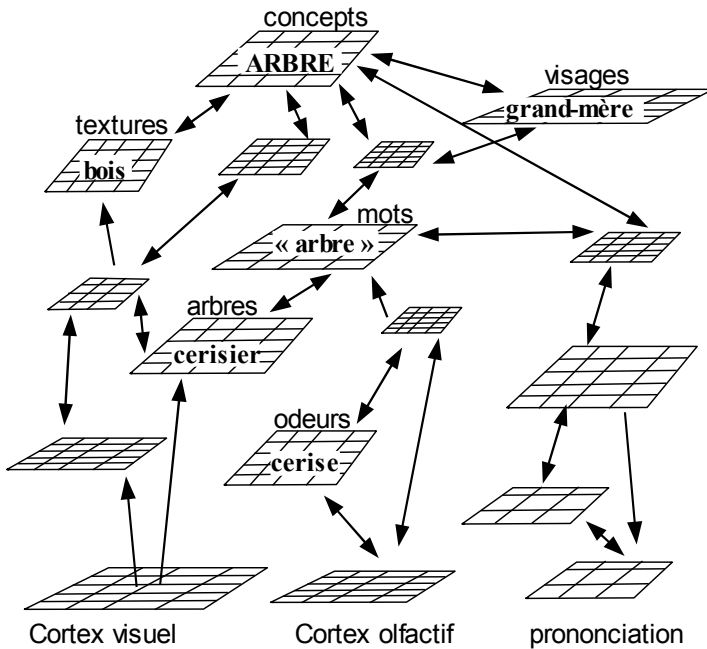


Figure 7.1 – La vue d'un arbre active le concept « Arbre », qui active alors l'ensemble des éléments liés à ce concept.

Sachant que les connexions entre deux cartes existent dans les deux sens, nous comprenons mieux la nécessité de la **fenêtre temporelle** lors de l'apprentissage (loi de Hebb). Si le neurone A active le neurone B, les connexions de A vers B sont renforcées – mais les connexions réciproques de B vers A le sont aussi. Les connexions réciproques peuvent être directes ou indirectes. Dans ce dernier cas, elles impliquent des neurones intermédiaires appelés inter-neurones. Une connexion inhibitrice sur un inter-neurone inhibiteur est l'équivalent fonctionnel d'une connexion excitatrice entre deux neurones (fig. 7.2). Pour votre information : 70% des neurones du cerveau sont des inter-neurones inhibiteurs.

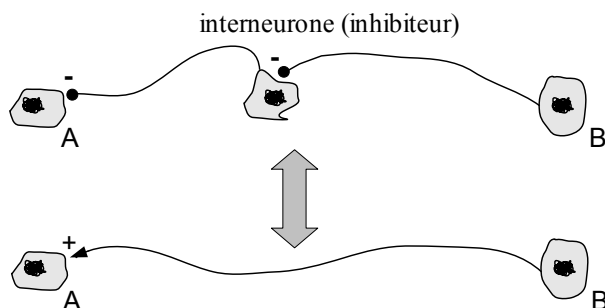


Figure 7.2 – Activation réciproque du neurone B sur A. Ces deux schémas sont équivalents (une flèche représente une synapse excitatrice, un rond une synapse inhibitrice).

Selon les cartes et selon les moments, la situation perçue active un neurone. Comme le Monde est continu, entre deux instants successifs, la situation évolue très peu. Le neurone actif actuellement est soit le même que celui qui était actif à l'instant précédent (aucune variation de la situation), soit l'un de ses voisins (petites variations dans la perception de la situation). Il est possible d'appliquer le même raisonnement récursif pour la situation précédente, et aussi celle d'avant, etc. Lorsque l'on regarde les activations successives sur la carte au fur et à mesure que la situation évolue, nous distinguons une trajectoire continue. Cette **trajectoire** permet de **prédire l'évolution future de la situation**. Ce qui va dans une direction devrait continuer à le faire, tandis qu'il ne devrait pas y avoir de virages brusques ou de ruptures (assimilables à des discontinuités) (fig. 7.3).

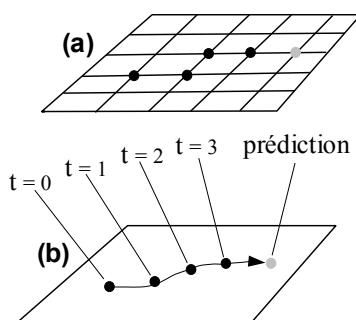


Figure 7.3 – Prédiction de l'évolution de la situation courante.
(a) et (b) représentent la même carte (dorénavant nous ne dessinerons plus les voisinages).

La prédiction est réalisée **automatiquement**. L'activation d'un neurone active *de facto* ses voisins. L'un des voisins du neurone actif l'a déjà été à l'instant précédent, il est donc maintenant dans une période réfractaire pour quelques instants. C'est aussi le cas pour le neurone actuel. Du coup, le nombre de candidats pour une préparation « à l'avance » est réduit. Il y a de très grandes chances que l'évolution de la situation passe effectivement par une des situations prédites (*i.e.* un des neurones préparés), auquel cas il n'y aura pas de transmission d'information vers les étages supérieurs.

Grâce aux connexions réciproques, l'inverse est aussi possible. Si vous êtes attentif à la situation actuelle (parce qu'elle a activé vos cartes de plus hauts niveaux), alors la préparation de la « possible » situation future permet d'être informé plus vite lorsque cette situation a effectivement lieu (fig. 7.4). Cette préparation est différente de celle impliquée dans le paragraphe précédent (absence de transmission). Ici, la quantité de neurotransmetteurs nécessaire pour passer dans l'état excité sera réduite.

Les connexions depuis les entrées sensorielles préparent la survenue d'une situation inattendue (1) ; tandis que les connexions réciproques préparent l'arrivée d'un événement attendu (2) (fig. 7.5).

CONSCIENCE, INTELLIGENCE, LIBRE-ARBITRE ?

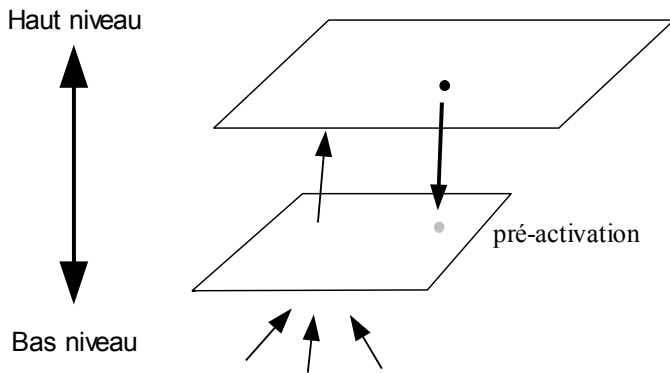


Figure 7.4 – Attention générée par les connexions réciproques : il y a pré-activation des neurones associés à l'activation de plus haut niveau.

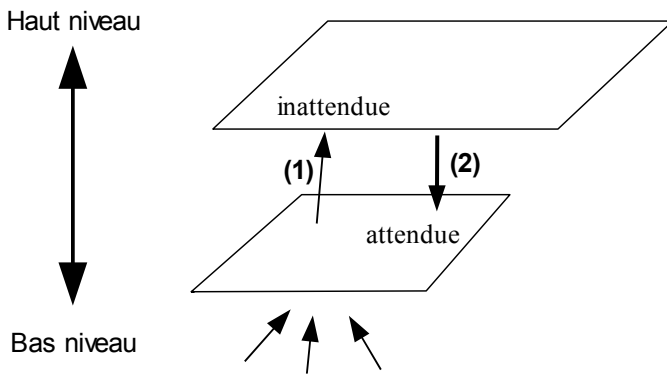


Figure 7.5 – Attention exogène (1) et attention endogène (2). En (1) il y a transfert vers les niveaux supérieurs des événements inattendus et arrêt de la transmission pour les événements prévisibles. En (2) il y a facilitation de l'activation de neurones de niveau inférieur appartenant à des événements prévus (attendus) à des niveaux supérieurs.

1. Une situation « **inattendue** » est une situation qui n'a pas été prédite. Elle est donc traitée par des neurones qui n'ont pas été préalablement préparés. Ces neurones transmettent l'information aux neurones des cartes du niveau suivant, qui doivent en tenir compte. Si l'information reçue n'a pas été correctement prédite à ce niveau d'abstraction aussi, alors elle est transmise au niveau d'abstraction

supérieur. Ce processus a reçu le nom d'**attention exogène** et explique pourquoi et comment des choses nouvelles attirent notre attention. *A contrario*, des choses qui se déroulent comme d'habitude ne génèrent pas d'attention de notre part. Dans ce cas, le processus à l'œuvre a reçu le nom de **filtre de nouveauté**. Il est extrêmement utile, car à chaque instant ce sont des centaines de sensations qui nous assaillent.

2. Une situation est « **attendue** » lorsqu'elle appartient à l'activation multi-cartes impliquée par le concept actuellement actif (ce à quoi l'on pense à ce moment). Ce processus a reçu le nom d'**attention dirigée** (ou **attention endogène**) et explique pourquoi et comment nous faisons automatiquement attention aux choses dont nous avons conscience (cf. chapitre 9).

Les attentions endogène et exogène ne sont pas mutuellement exclusives. Au contraire, la plupart du temps, ces deux processus travaillent en synergie. Par exemple, l'attention exogène sélectionne quelque chose de nouveau et le fait « monter » vers les cartes de plus hauts niveaux, tandis qu'en parallèle l'attention endogène génère à chaque niveau atteint, des retours vers les cartes précédentes afin de vérifier que ce qui est perçu est bien ce qui a été mémorisé. Ces allers-retours entre niveaux permettent de raffiner le traitement de la situation, de trier les « possibilités ».

Rappelez-vous que la vitesse de traitement des neurones dépend de leurs niveaux d'activation initiaux et que tous les aspects d'une même situation ne sont pas d'égale intensité. Certains aspects vont donc exciter très rapidement certains neurones. Les aspects plus discrets mettront plus de temps à réunir une excitation suffisante – à moins que les connexions réciproques ne leurs facilitent le travail. Au final, les aspects nouveaux de la situation parviendront aux cartes de plus hauts niveaux après que les éléments familiers de la situation y sont parvenus.

La figure 7.6 montre une réalisation neuronale possible des processus attentionnels (endo et exo-gènes). L'action d'un neurone sur son voisin dans une même carte passe par un/des inter-neurone(s) inhibiteur(s). L'attention exogène est un processus localisé puisque impliquant des neurones obligatoirement voisins. A l'inverse, l'attention endogène implique les connexions réciproques excitatrices, depuis les niveaux supérieurs vers les couches inférieures : c'est un processus diffus.

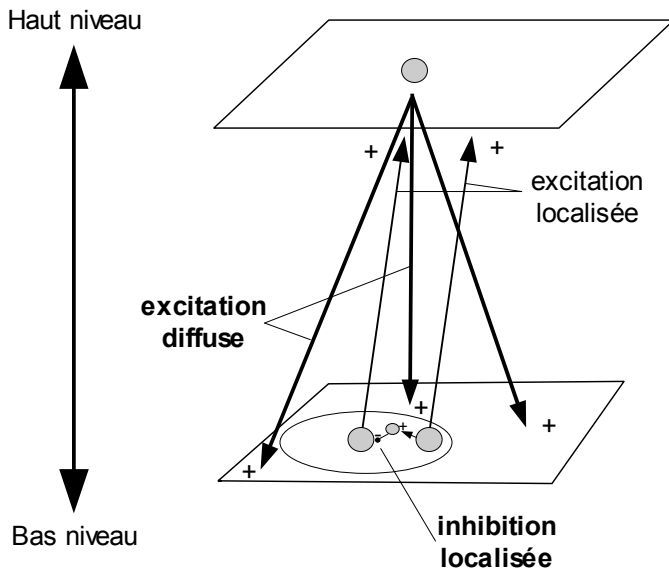


Figure 7.6 – Modélisation neuronale des processus attentionnels. Les excitations montantes sont plus localisées et plus fortes que celles en provenance des connexions réciproques (plus diffuses). Les connexions sur une même carte sont inhibitrices et localisées.

Le chapitre suivant traite du langage, un cas d'école dans l'utilisation des attentions endogène et exogène. Un autre cas intéressant est celui des caresses, que nous verrons au chapitre 16.

8. Pourquoi 6 700 langues sur cette planète ?

Comment est né le **langage** ? Première constatation, il est né souvent car il y a aujourd'hui 6 700 langues parlées dans le Monde. Seconde constatation, il peut naître entre seulement deux individus. C'est le cas lorsque deux jumeaux inventent un langage à eux. Nous en concluons que le processus à mettre en place est simple. En fait, la partie « **symbolique** » est simple. Deux individus à côté l'un de l'autre vont vivre *de facto* la même situation. Si l'un d'eux génère un son à cet instant là, l'autre l'entend et ses neurones l'associent à cette situation.

Plus tard, si dans une situation similaire, le même son est produit, alors il s'agit d'une régularité du monde réel qui sera mémorisée. A partir de ce moment, il suffit d'entendre ce son pour qu'il active les neurones codant la situation complète (son + image + odeur, etc.) qui est donc immédiatement évoquée (fig. 8.1(a)).

Réciproquement, en vivant à nouveau la situation (image, odeur, etc.), le son devient disponible, il est émis (fig. 8.1(b)). Si vous êtes seul, vous parlez tout seul. Si vous ne faites pas de bruit, alors vous vous parlez intérieurement. Si vous êtes accompagné, vous conversez. Bien évidemment, les mots que vous apprenez sont ceux dont vous vous servez, ce sera votre langue maternelle.

Comment le son devient-il disponible à partir de la seule vue d'un objet ? Au chapitre 4, nous avons montré comment, à la vue d'un arbre, une succession de cartes auto-organisatrices s'activent et généralisent jusqu'à l'activation finale du neurone représentatif du concept « Arbre ». Nous avons vu au chapitre 7 (attention endogène) que des **connexions réciproques** existent, qui partent de la carte de plus haut niveau d'abstraction pour alimenter les cartes de niveau inférieur et activer les éléments fondateurs du concept – notamment le son associé.

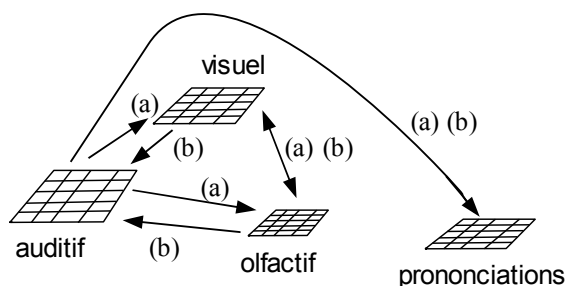


Figure 8.1 – Activation des éléments liés à une perception auditive (a) ou à une perception olfactive ou visuelle (b). Quelle que soit l'origine de l'activation, il y a prononciation.

Auto-organisation et supervision

Le langage est acquis – comme la lecture – en impliquant deux types d'apprentissage : l'auto-organisation et l'apprentissage supervisé. L'auto-organisation extrait les régularités des données qui parviennent à la carte, tandis que l'apprentissage supervisé réduit l'erreur entre la production de l'individu et celle de son entourage confronté à la même situation.

La production (forme verbale) est entendue par celui qui parle. Si sur la carte des sons entendus à cet instant, il y a deux foyers d'activation, alors il y a une différence entre le son mémorisé associé au concept et celui prononcé. Cette différence est une erreur. Au chapitre 6, nous avons vu comment deux cartes sont en synergie pour réaliser un comportement. Réduire l'erreur génère un comportement (celui de l'apprentissage supervisé) dont l'objectif est d'atteindre la situation-but : le mot prononcé comme tout le monde (fig. 8.2).

L'entrée sur la carte des actions est l'erreur entre les deux prononciations. La réponse de la carte sera la modification à réaliser pour que la prononciation soit plus juste. Il y a donc répétition de la prononciation jusqu'à ce que le but soit atteint : un seul lieu d'activité sur la carte des sons entendus. A chaque répétition de la prononciation, il y a modification des connexions entre mot entendu et mot prononcé (apprentissage). Cet apprentissage est automatique et auto-organisé, bien que l'on puisse le voir comme étant un apprentissage supervisé.

POURQUOI 6700 LANGUES SUR CETTE PLANETE ?

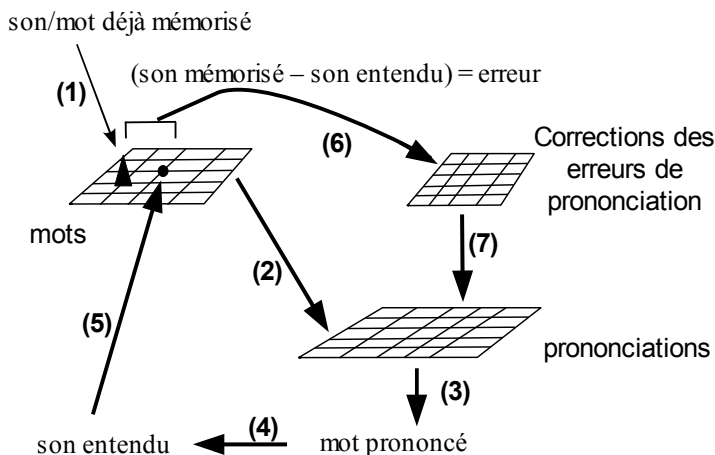


Figure 8.2 – Réduire l'erreur en production de la parole : un comportement dirigé. Sur la carte codant les mots, une activation (1) correspond à un mot déjà mémorisé que l'on veut prononcer (c'est un « but »). Cette activation est envoyée (2) sur la carte des prononciations afin qu'il soit dit (3). Il est alors entendu (4), et induit une activation sur la carte des mots (5). Si cette activation est différente de celle à l'origine (1), alors il y a une erreur de prononciation et la correction est obtenue à l'aide de la carte de corrections des erreurs (6), qui génère une action corrective transmise (7) à la carte des prononciations. Cette correction automatique des erreurs dans le but d'associer le son prononcé (entendu) à celui mémorisé est identique à celle utilisée pour la génération de comportements « motivés ».

Quelle est la nature des erreurs que fait l'enfant à ce stade d'apprentissage de sa langue ?

L'arrangement spatial de la carte « concepts » pré-existe pour partie à l'action de l'apprentissage supervisé comme le prouve l'enfant qui se trompe et prononce un mot de sens voisin (et non pas de consonance voisine) comme illustré sur la figure 8.3.

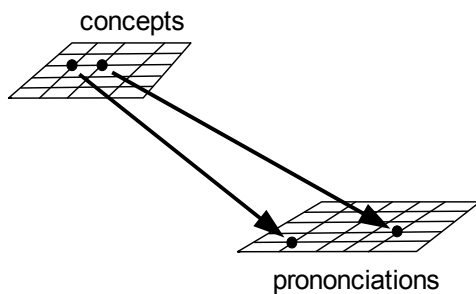


Figure 8.3 – L'une des causes d'erreurs de prononciation lors de l'acquisition du langage. Une petite erreur sur la carte des concepts se traduit par une grande erreur lorsque le mot est prononcé.

9. La conscience : une simple verbalisation automatique ?

Le chapitre sur l'attention (cf. chapitre 7) explique pourquoi et comment les faits « nouveaux » génèrent une activation sur des cartes auto-organisatrices codant des niveaux d'abstraction élevés, tels que mots ou concepts. Nous pouvons en déduire qu'un fait « nouveau » est automatiquement associé à une activité neuronale sur la carte des mots (un neurone est activé). Comme cette carte est aussi associée à la prononciation des mots, il y a donc immédiatement prononciation ou verbalisation (fig. 9.1).

Un observateur dirait que c'est un réflexe appris au contact de nos congénères parce que dès notre plus jeune âge, notre entourage nous commente les situations que nous vivons ensemble et nous raconte ses activations internes (ce qu'il pense). Nous savons que la vraie raison est plus simple : les exemples qui ont organisé nos cartes de haut niveau (celles des mots) contenaient à la fois la situation et le mot prononcé. Nos cartes auto-organisatrices étant des mémoires associatives, chaque situation déclenche automatiquement le son associé (le mot). Cette « verbalisation » est automatique et découle des exemples qui ont organisé notre apprentissage.

Associer un mot à une situation est la base de notre cognition. Ceci est particulièrement bien mis en évidence dans l'autobiographie de Helen Keller¹⁹. H. Keller est sourde, muette et aveugle, ce qui ne l'empêchera pas d'obtenir un doctorat et de donner des conférences dans le monde entier. Elle raconte avec beaucoup de précision et d'émotion l'instant où elle a dépassé une attitude « animale » vis-à-vis des situations vécues,

19 Helen Keller, *Sourde, muette, aveugle*, Payot, 2001, 275 pages.
ISBN 978-2228894135

pour débiter une compréhension « humaine ». Nous pourrions *a priori* appeler cet instant magique de « prise de conscience ». Cet instant est celui où (après de multiples efforts de son professeur) H. Keller a compris le lien qui existait entre un code qui était tapoté dans la paume de sa main et une situation déterminée (dans ce cas précis il s'agissait de l'eau). Cette association « mot-situation » a été un révélateur et lui a permis d'accéder à la conscience, au langage, à la cognition.

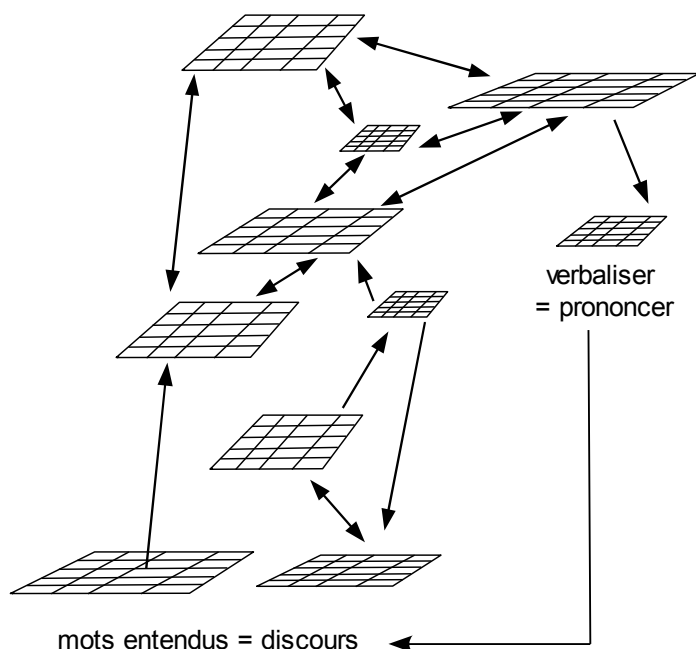


Figure 9.1 – Verbalisation automatique.

D'après ce que nous avons décrit, **la conscience est une verbalisation automatique des situations parvenant à nos cartes des concepts ou des mots**. Cette explication ôte toute incertitude à la notion de conscience, terme qu'il vaudrait mieux remplacer par celui de verbalisation. Une « verbalisation » est très différente de la définition de « conscience » que nous fournit le dictionnaire. Nous pouvons en déduire que la conscience est une illusion découlant de notre ignorance – ce que savaient déjà les Bouddhistes il y a 3 000 ans.

Nous verbalisons aussi bien les situations perçues du monde extérieur issues de l'attention exogène (cf. chapitre 7), que nos propres situations « intérieures » issues de l'attention endogène. Dans ce dernier cas, notre verbalisation reflète exactement nos pensées.

La verbalisation consiste à plaquer sur une situation les mots qui la décrivent. Un discours est une succession de mots qui s'enchaînent. Au sein de notre cortex, des cartes auto-organisatrices ont mémorisé des séquences complètes de mots. Les séquences voisines dans le temps (c'est-à-dire dans le discours) sont codées par des neurones voisins de la carte. Faire un discours revient à activer des neurones voisins l'un après l'autre, en choisissant à chaque fois le voisin le plus proche du but fixé (cf. chapitre 6). Il est donc normal que je ne sache pas quels mots je vais employer avant de parler – bien que je connaisse à l'avance le but de mon discours.

Manipulation

Nous sommes tous manipulables²⁰ et manipulés²¹. Notre mémoire activera plus facilement des mots qui ont déjà été prononcés ou entendus, et l'enchaînement des mots que nous utilisons est conforme à l'enchaînement habituel des mots dans notre environnement (entourage, TV, médias). Cet enchaînement n'a rien à voir avec la logique, sauf si votre métier de professeur de Logique vous met au contact d'exemples de Logique 18 heures par jour.

Les vendeurs sont des spécialistes dans ce domaine et un argumentaire commercial bien construit se doit d'utiliser les bons termes, aux bons moments. Cette explication de la conscience fournit une base biologique à la PNL (Programmation Neuro-Linguistique), un domaine injustement mal considéré par les scientifiques.

20 Voir à ce sujet le documentaire « le Jeu de la mort » (2009) qui reprenait une expérience de Stanley Milgram (1960) où des personnes « quelconques » administrent des chocs électriques à d'autres jusqu'à mettre en péril leurs vies – juste pour obéir aux ordres de l'animateur. Pour information, cette expérience a été reproduite dans de nombreux pays depuis 1967 et à chaque fois les résultats obtenus par Milgram ont été validés.

21 Robert-Vincent Joule et Jean-Léon Beauvois, *Petit traité de manipulation à l'usage des honnêtes gens*, Presse Universitaire de Grenoble, 2002, 288 pages.
ISBN : 2 7061 1044 9.

Nos buts

Il est important de prendre conscience que les buts constituent des phares de signal qui orientent toutes nos actions dans leurs directions. Ces buts (mode, pouvoir, beauté, argent, etc.) sont « artificiels » au sens où ils sont issus du hasard²² (chaque civilisation montre des buts différents, voire opposés). La sélection « naturelle » a retenu les peuples dont les buts étaient les plus efficaces – pas les plus nobles ou les plus respectueux de la nature, ni même les plus agréables à vivre (ces buts pourraient même entraîner notre perte à tous).

22 La « Mémétique » est une science dont l'objectif est d'étudier les évolutions de la culture (codes et schémas informationnels) avec une approche darwinienne. C'est une théorie de l'évolution étendue au domaine culturel.

10. Où a disparu le libre-arbitre ?

Parvenu à ce chapitre, vous êtes convaincu que les comportements sont pilotés par des neurones, et que l'excitation de ces neurones dépend des entrées qu'ils reçoivent à travers les connexions qui les alimentent. Vous savez aussi que les connexions reliant deux neurones peuvent être peu nombreuses ou très nombreuses, excitatrices ou inhibitrices. Vous admettez *de facto* que l'excitation des neurones dépend du schéma de câblage qui les relie les uns aux autres et de la situation vécue actuelle telle qu'elle est perçue par les capteurs (qui sont les entrées du cerveau).

Faisons une expérience fictive et imaginons que vous disposez du :

1. schéma de câblage de votre cerveau complet où chaque connexion entre deux neurones est décrite avec sa force et son signe (+ ou -), et que l'on vous donne aussi :
2. l'état d'activation électrique de votre cerveau maintenant (quels neurones sont excités, quels neurones sont hyperpolarisés, lesquels sont au repos), et
3. l'excitation neuronale correspondant à la perception de la situation dans laquelle vous allez vous trouver dans une seconde.

Avec ces trois informations, vous êtes capable de savoir exactement quels neurones seront finalement actifs après traitement de la future (dans une seconde) situation. Vous savez donc ce que vous allez faire, dire, penser. Si vous savez cela à l'avance – une seconde avant – c'est que vos « décisions » dépendent uniquement du câblage, et de l'état d'activation résultant de la situation vécue. Je n'y vois aucun libre-arbitre et donc **le libre-arbitre n'existe pas !**

A chaque instant, les connexions entre les neurones actifs se modifient d'après la règle d'apprentissage proposée par D. Hebb. Grâce au schéma de câblage, il est facile de savoir quels vont être les neurones actifs et quelles connexions vont être mises à jour et de combien – pour peu que l'on sache exactement qu'elle est la situation perçue. Si nous sommes capables de connaître à l'avance les modifications à venir du schéma des connexions d'un cerveau, et que ces modifications dépendent uniquement de la situation vécue, alors nous disposons d'un schéma de câblage mis à jour pour la situation suivante, et la suivante de la suivante et ainsi de suite. Ceci peut être répété à l'infini.

Si l'on admet que le fœtus à la naissance ne sait pas grand chose (schéma de câblage vierge), alors la connaissance de la première situation vécue par celui-ci détermine la modification du schéma, lequel détermine le traitement de la deuxième situation vécue, qui modifie à nouveau le schéma de câblage, etc. En résumé, si nous connaissions exactement toutes les situations vécues par quelqu'un, alors nous pourrions disposer d'une copie exacte de son schéma de câblage neuronal à chaque instant de sa vie, et donc nous saurions à l'avance comment il va réagir. Cette personne n'aurait pas de libre-arbitre au sens où nous l'entendons. Cette personne, c'est vous – et moi aussi ! Nous sommes une cristallisation de nos expériences vécues. Ces expériences nous étant fournies par notre environnement, nous sommes donc la cristallisation de notre environnement.

Notre cerveau n'est qu'une mémoire. Il se souvient de tout ce qu'il a rencontré et seulement de cela. Nous sommes donc quelque part une mémoire ambulante de ce qu'il s'est passé. Et nous perpétuons ce passé car que peut faire d'autre une mémoire ? Nous agissons donc sur notre environnement quotidien en référence avec ce passé.

Comment une mémoire – même ambulante – peut-elle inventer et découvrir des choses nouvelles, faire preuve d'intelligence ? C'est ce que nous verrons dans le prochain chapitre « L'intelligence existe-t-elle ? ».

Je sais, parce que vous n'êtes pas la première personne à qui je présente ces conclusions, que l'absence de libre-arbitre choque. Pourtant, ce constat peut être l'occasion de gagner en « Zénitude ». Ainsi, les gens qui font des bêtises et qui ce faisant nous énervent (notamment sur la route), n'ont pas de libre-arbitre, elles ne l'ont donc pas fait exprès. C'est

l'environnement dans lequel elles vivent qui les conditionne. Elles sont le jouet de cet environnement, un peu comme une feuille peut être emportée par le vent ou une pomme qui subit la gravitation. En voulez-vous à une pomme de tomber d'un arbre – même sur votre tête éventuellement ? Ce serait ridicule – comme il est ridicule de prendre pour soi le comportement d'autrui.

En fait, la plupart d'entre nous sommes prêts à accepter l'idée que notre comportement dépend uniquement de notre passé – mais nous n'acceptons pas l'absence de libre-arbitre ! Lorsque nous réfléchissons avant de prendre une décision, c'est la preuve flagrante de notre libre-arbitre (même si nous sommes d'accord pour dire que le résultat de notre réflexion est prévisible pour celui qui dispose de notre schéma de câblage).

Je propose donc de modifier la définition de libre-arbitre pour la rendre dépendante du temps de réflexion. **Un individu fait preuve de libre-arbitre lorsque la décision qu'il prend nécessite un délai tel qu'obligatoirement des cartes de haut niveau d'abstraction, comme celles liées à la verbalisation, sont impliquées** (cf. chapitre 9).

L'implication des cartes de haut niveau d'abstraction signifie que la décision de l'individu peut être différente de la décision standard. La « décision standard » est la décision prise par une majorité d'individus placés devant le même choix. Sans cette implication des cartes de haut niveau – et donc des souvenirs personnels construisant les concepts par exemple – l'individu ne pourrait se démarquer de la décision standard. En d'autres termes, la décision standard découle d'un vécu commun partagé par une majorité, tandis que le libre-arbitre est associé à un vécu personnel.

Le libre-arbitre dépend du niveau de connaissance dont dispose l'observateur (qui peut être nous-même) sur notre vécu. C'est parce que cette connaissance n'est pas complète que nous faisons appel à la notion de libre-arbitre. Le libre-arbitre en tant que tel n'existe pas ! C'est juste le témoin d'une méconnaissance.

Qu'y a-t-il après le libre-arbitre ? La capacité à mieux se comprendre et donc d'optimiser notre quête de bonheur personnel (cf. chapitre 22).

CONSCIENCE, INTELLIGENCE, LIBRE-ARBITRE ?

11. L'intelligence existe t-elle ?

A quel moment nous exclamons-nous : « Wow ! Ça c'est intelligent ! » ? Ceci nous arrive de temps à autre, lorsque nous apprenons quelque chose de nouveau, comme une relation entre deux concepts que nous n'avions pas imaginée jusqu'alors. Si nous partageons ce moment avec quelqu'un d'autre, celui-ci peut être en total désaccord avec nous, soit qu'il n'ait rien compris, soit qu'il le sache déjà depuis longtemps. En bref, **nous faisons preuve d' « intelligence » en fonction du niveau de connaissance de l'observateur.** Nous ne sommes pas intrinsèquement intelligent ou idiot !

Impossible alors d'acheter un kilogramme d'intelligence supplémentaire afin de briller en société. En revanche, si vous choisissez de frayer avec des individus ignares dans votre domaine de compétence, il y a de bonnes chances pour que vous soyez qualifié d' « intelligent ». Comme le dit si bien le dicton : « au pays des aveugles, les borgnes sont rois ».

Vouloir paraître « intelligent » est louable. Pour y parvenir, il faut faire découvrir une nouvelle relation entre deux objets à votre interlocuteur, relation qu'il ne connaissait pas, mais qu'il comprendra et admettra. Vos connaissances sur le sujet doivent être plus détaillées, plus nombreuses et plus précises que les siennes. Sachant où vous voulez en venir (lien entre deux objets), et d'où vous partez (estimation de ses connaissances sur le sujet), il est facile de calculer un chemin sur votre carte des « connaissances ». Selon ses connaissances, vous décidez si vous devez passer par chacune des situations intermédiaires (connaissances intermédiaires) ou si vous pouvez en sauter quelques unes, voire la plupart. A chaque instant, vous vérifiez si la situation intermédiaire est atteinte (si la connaissance est acquise). Si ce n'est pas le cas, il vous faut recommencer, affiner, détailler...

Ce processus n'est pas sans rappeler la réalisation d'un comportement à partir de la définition d'un but (cf. chapitre 6). C'est normal, c'est le même processus. Dans un cas, les situations sont celles du Monde extérieur perçues par vos capteurs ; dans l'autre cas, il s'agit de situations du monde des connaissances extrapolées à partir des informations que vous envoie votre interlocuteur (ses mimiques, ses questions, etc.).

La mise en relation des deux objets jusque là indépendants passe par la création sur une carte de niveau supérieur d'un neurone actif pour l'un et l'autre objet en même temps (fig. 11.1). A l'avenir, l'activation de l'un des neurones (objet 1) activera automatiquement l'autre neurone (objet 2). La découverte de la relation est un moment extra-ordinaire puisqu'il y a réduction de l'activation neuronale du fait de la synchronisation entre les activations générées par l'objet 1 et celles dues à l'objet 2. Cette réduction d'activation est une discontinuité dans notre fonctionnement neuronal qui automatiquement laisse place à la verbalisation, puisqu'il n'y a pas d'autres activités que celle du neurone codant la relation. Cette mise en relation est à la base des processus impliqués par le raisonnement et la logique (cf. chapitre 18).

Tests de QI

Ces tests mesurent uniquement ce que nous savons faire. Par définition, eu égard au fait que nous sommes une mémoire, si nous savons le faire c'est que nous l'avons déjà fait. Ces tests couvrent un large éventail de capacités « intellectuelles ». Les « jeunes » obtiennent de meilleurs scores que les personnes plus âgées, pourquoi ? Le cerveau vieillit, mais ce n'est pas la cause essentielle. Comme le cerveau est une mémoire, il est représentatif de notre expérience, de notre vécu :

- Dans le cas des « jeunes » cette expérience est très limitée. Ne sachant rien faire de précis (ils sont encore à l'école ou en sortent à peine), ils montrent un profil de performances moyen partout.
- A l'inverse, les « âgés » ont derrière eux une longue expérience, un métier dans lequel ils excellent. Dans les domaines liés à leur métier (ou à leur hobby), ils sont excellents – par contre dans tous les autres domaines, leurs performances sont mauvaises.

Plutôt que « bonnes » et « mauvaises », il est plus utile de considérer

leurs performances selon le critère de l'utilité par rapport à leur vie quotidienne. Dans ce cas, les « âgés » montrent des performances optimales : doués dans ce qu'ils font tous les jours, mauvais dans ce qu'ils ne font jamais. Avec cet éclairage, les « jeunes » – moyens partout – ne sont adaptés à rien de particulier (mais heureusement capables d'apprendre). En bref, plus votre QI est élevé, plus vous êtes jeune et incapable (pour ceux qui n'y verraient pas une pointe d'humour, rendez-vous au chapitre 13).

Faciliter les éclairs de génie :

Le stress (cf. chapitre 19) induit une libération d'adrénaline qui a pour effet de faciliter l'activation des neurones et donc augmente le nombre de neurones impliqués à un instant donné. C'est l'occasion de découvrir de nouvelles relations entre divers éléments.

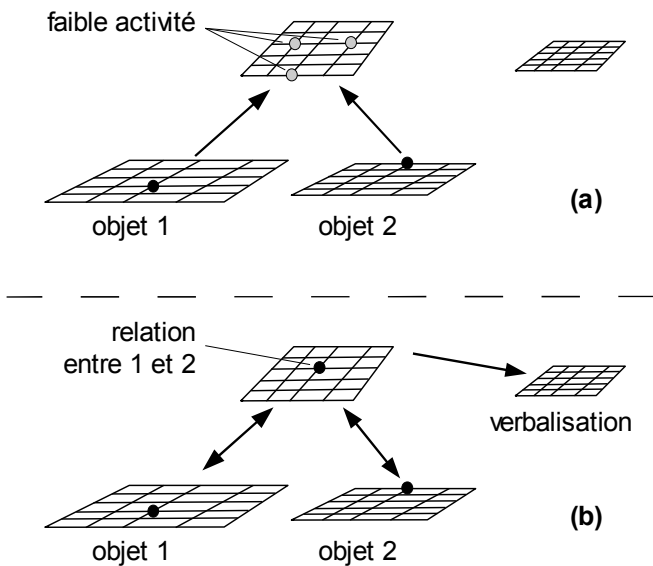


Figure 11.1 – Un trait d'intelligence : une relation s'établit (b) entre deux objets jusqu'alors dissociés (a). Le niveau d'activité générale diminue, et induit la verbalisation.

CONSCIENCE, INTELLIGENCE, LIBRE-ARBITRE ?

12. Qu'est-ce que la joie, la peur ?

Les colonnes corticales sont organisées en cartes. Il y a de très nombreuses cartes, chacune extrayant les régularités présentes dans les informations qui lui parviennent. Les neurones voisins d'une même carte représentent des informations voisines. Ces cartes sont de taille finie, ce qui signifie que le nombre de colonnes corticales qui les composent est limité. Il y a donc des bords aux cartes corticales, c'est-à-dire des zones où les colonnes corticales ont moins de voisins, par exemple seulement 2 ou 3 (fig. 12.1).

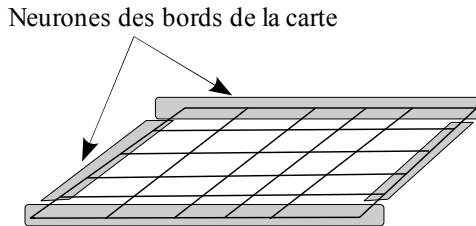


Figure 12.1 – Les émotions : des effets de bord des représentations corticales...

Les neurones qui sont sur les bords d'une carte représentent donc la limite de ce qui a été mémorisé à ce niveau. Une situation « ordinaire » activera un neurone « central » de la carte (puisqu'il a des voisins), une situation « extra-ordinaire » (c'est-à-dire qui n'est encore jamais arrivée) activera un neurone appartenant au bord de la carte (presque sans voisins). Ce neurone ne codera pas exactement la situation telle qu'elle se présente, mais ce sera certainement le neurone codant la situation la plus proche de la situation extra-ordinaire (parmi toutes celles mémorisées). Il y aura donc une erreur considérable dans le codage de la situation réelle, ceci ne peut être évité. Avec l'expérience, c'est-à-dire la répétition de la

présentation de cette situation extra-ordinaire, des neurones vont se spécialiser dans son codage et l'erreur va se réduire. Il y aura apprentissage au fur et à mesure que cette situation extra-ordinaire cessera de l'être (fig. 12.2).

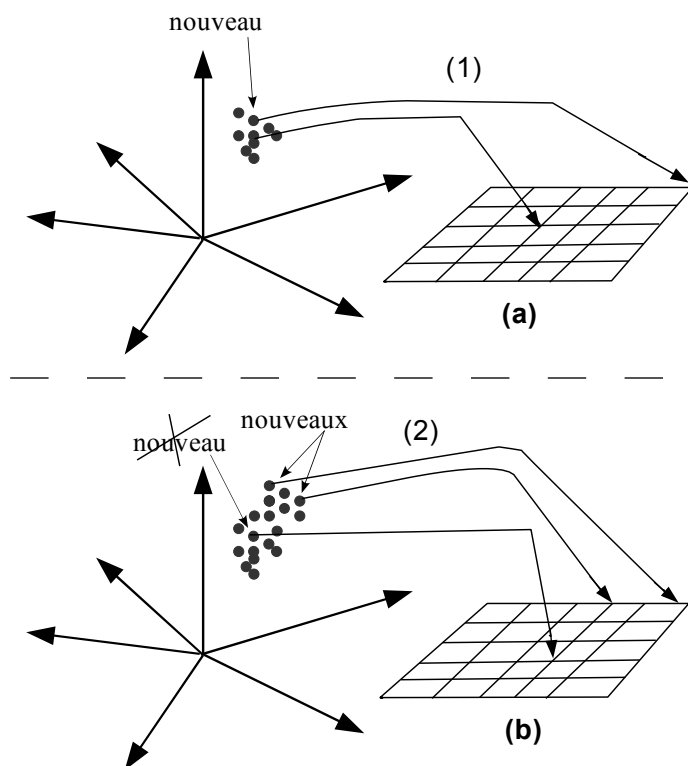


Figure 12.2 – Une situation nouvelle (1) induit une émotion (a) que la répétition de la situation fera disparaître (b). Du fait que des situations « nouvelles » (2) ont eu lieu, ce qui était nouveau (1) ne l'est plus (il n'est plus isolé) et n'est donc plus associé avec un neurone d'un bord de la carte.

La situation extra-ordinaire excite des neurones sur le bord des cartes auto-organisatrices. Cette situation étant nouvelle, à aucun moment l'excitation neuronale qui lui est associée ne se synchronise avec un « souvenir ». L'excitation neuronale associée parvient donc aux plus hauts niveaux, et de là aux cartes sensori-motrices pilotant les muscles.

QU'EST-CE QUE LA JOIE, LA PEUR ?

L'activation initiale étant par définition extra-ordinaire (c'est-à-dire anormale), il en va de même de l'excitation du cortex sensori-moteur.

Si vous observez quelqu'un vivant une telle situation anormale (pour lui), vous constaterez que sa bouche s'ouvre, ses yeux se plissent et son corps est agité de soubresauts. Si vous ne l'entendez pas, il vous sera impossible de dire s'il pleure ou s'il rit. Il pourrait même s'agir d'un rire nerveux, du genre de celui qui vous prendrait en plein milieu d'une oraison funèbre et qui vous ferait souhaiter disparaître dans un trou de souris. Nous en concluons que dans une situation extra-ordinaire, le corps se comporte toujours de la même manière « extra-ordinaire ».

La différence entre la joie et la peur se fait par rapport au contexte. Un contexte dangereux et c'est la peur. Un contexte rassurant et c'est le rire. Le rire est une composante de l'humour, mais ce dernier résulte d'un processus plus complexe, comme nous le verrons dans le chapitre suivant « Faire de l'humour 100% efficace ? ». Parmi les grandes peurs, il y a la mort. Mais cette peur là nous pouvons nous en débarrasser²³.

Pour éprouver de la joie, il faut donc vivre des situations qui sont hors limites par rapport à celles dont nous avons l'habitude, et il faut être serein. Pour être heureux, il faut une synergie entre la situation vécue et nos attentes (cf. chapitre 22).

Les enfants rient beaucoup, les adultes moins et parfois les personnes âgées plus du tout. Ceci s'explique par le fait que :

1. Les enfants créent leurs cartes et les étendent. Partis de rien, ils sont toujours hors limites.
2. Les adultes ont leurs cartes bien organisées, mais ils s'accordent des moments de vacances pendant lesquels ils font autre chose que ce qu'ils font d'habitude. Ces moments-là sont donc particulièrement propices à l'apparition de situations hors limites : ils découvrent de nouveaux lieux, entretiennent des relations avec de nouvelles personnes, changent d'habitude.

²³ Arrivé ici, vous devriez pouvoir admettre que le libre-arbitre et la conscience masquaient une incompréhension des processus neuronaux à l'œuvre. En y réfléchissant un peu, si nous sommes uniquement la « cristallisation » de nos expériences vécues, alors pourquoi avoir peur de mourir, puisque nous n'existons pas !

3. Les personnes âgées – pas toutes heureusement ! – protègent leur corps en installant des routines²⁴ et en respectant des habitudes précises. Bien évidemment, il s'agit d'éviter la nouveauté et donc le risque, mais elles y perdent leur autonomie (cf. chapitre 19).

24 **Prison** : L'effet d'une routine omniprésente est d'induire une perte d'autonomie cognitive chez la personne. Dans le cas de la personne âgée, on comprend que la cause est liée à la faiblesse du corps. Les prisonniers expérimentent eux aussi routine et absence de nouveauté. On comprend pourquoi : cela garantit l'étanchéité de la prison. Nous comprenons aussi pourquoi le taux de suicide est si grand en prison (cf. chapitre 19) et pourquoi le taux de récidive est si grand (40% pour les crimes sexuels, 70% pour les vols). Durant toute la durée de leur peine, le cerveau des prisonniers n'a guère de nouveautés « à se mettre sous la dent ». N'ayant rien eu à apprendre, il n'a pas évolué. Confronté aux mêmes problèmes à sa sortie de prison qu'avant, l'ex-prisonnier ne trouve comme réponse que celle qui l'a déjà envoyé en prison. J'ai écrit au Garde des Sceaux en lui proposant d'introduire la stimulation cognitive dans les prisons, afin que les cerveaux qui sortent ne soient pas les mêmes que ceux qui y étaient entrés. Son Cabinet m'a informé qu'avant de donner suite, il prenait l'avis du Ministère de la Santé...

Anecdote : La façon dont l'Administration française mesure la récidive est typiquement « gauloise », similaire à celle qui veut que le nuage radioactif de Tchernobyl se soit arrêté à nos frontières. Officiellement, le taux de récidive des crimes sexuels est de 1.4% - sauf qu'il ne tient compte QUE de ceux qui ont été à nouveau condamnés pour crimes sexuels dans les 3 ans ! Les statistiques du Canada et de la Suisse font pour leur part état d'une récidive de 40% - mais comptent sur 15 ans et incluent les délits sexuels non condamnés. La récidive s'arrête-t-elle à nos frontières ?

13. Comment faire de l'humour 100% efficace ?

Scott Adams, célèbre et prolifique cartooniste américain, est le père de « Dilbert ». Dans un de ses livres²⁵, il nous donne sa méthode pour réussir un trait d'humour. Il définit 6 dimensions :

1. mignon (*cuteness*),
2. méchant (*meanness*),
3. bizarre (*bizarreness*),
4. reconnaissable (*recognizability*),
5. sale, cochon (*naughtiness*),
6. malin (*cleverness*).

Son axiome est que si ce que vous proposez est une exagération dans 2 parmi ces 6 dimensions alors ce sera perçu comme drôle (fig. 13.1). Une seule dimension n'est pas suffisante, tandis que trois n'apportent rien de plus.

Forts de notre compréhension de la TnC, nous pouvons voir que si la situation que vous imaginez est une exagération dans une seule de ces dimensions, alors elle sera perçue telle quelle. Elle sera en dehors de la carte, mais vous pourrez sans problème discerner ce qui a été exagéré, et aussi localiser le point de départ. En revanche, si la situation met en jeu 2 dimensions, alors il y a 2 cartes et 2 exagérations. *A priori*, l'une et l'autre n'ont aucun rapport et vous ne pouvez pas trouver de "chemin" explicatif qui partant de l'une, fasse apparaître l'autre comme normale. Vous êtes donc surpris et désarçonné ! La réponse comportementale à la surprise est ici le rire. Dans d'autres cas, c'est la fuite, la peur, l'attaque, l'intérêt...

²⁵ Scott Adams, *The Joy of Work, Dilbert's Guide to Finding Happiness at the Expense of your Co-workers*, HarperCollins, 1998, ISBN 0-88730-871-6, 266 pages. (The « Two of Six » rule, page 200).

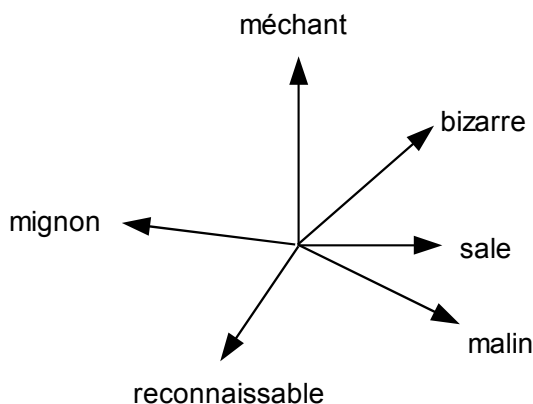


Figure 13.1 – Parmi les 6 dimensions disponibles pour créer de l'humour, au moins 2 sont nécessaires.

Je ne résiste pas au plaisir de vous livrer ici ma blague préférée (héritage de mon directeur de thèse) afin de mettre en lumière notre nouvelle connaissance.

Dans un marigot de la jungle équatoriale, écrasé sous le soleil, rien ne bouge tellement il y a de lumière et de chaleur, pas une ride sur l'eau, pas un bruit, rien ! Deux hippopotames font la sieste côte à côte, lorsque l'un dit à l'autre : « je n'arrive pas à me faire à l'idée qu'on est déjà mercredi ».

D'après notre grille d'analyse, cette blague contient une exagération dans les trois dimensions suivantes :

- (1) et (3) : des animaux plutôt mignons (hippopotames) parlent (ce qui est bizarre),
- (4) : leur préoccupation (le temps file trop vite) ressemble à des choses que nous avons déjà entendues, mais certainement pas dans ce contexte.

Si nous enlevons les animaux pour y mettre des hommes, la blague ne fonctionne plus. Si nous enlevons le caractère reconnaissable du discours (en remplaçant par quelque chose de typiquement animal comme « j'ai faim »), cela ne fonctionne plus. Dans cet exemple, deux dimensions exagérées sont effectivement nécessaires pour obtenir un trait d'humour.

14. L'amour, c'est quoi ?

Nous sommes la mémoire de notre environnement. Comment une mémoire peut-elle avoir des sentiments amoureux ? Répondre à cette question, c'est prendre une grande responsabilité. Doit-on oser démystifier et par conséquent démythifier l'Amour ?

L'Amour est considéré comme l'un des grands objectifs d'une vie d'Homme. C'est une apothéose. L'Amour se différencie du mariage, ce n'est pas un contrat mais une émotion, un sentiment. Si nous y accordons autant d'attention, c'est que l'état amoureux est considéré comme très agréable et que la recherche du bonheur est un droit²⁶.

Pour un observateur, quelqu'un d'amoureux prête énormément d'attention à l'objet aimé. Il le regarde, l'écoute, se rappelle ce qu'il dit ou fait. Il envisage le futur à ses côtés, acquiesce aux désirs de l'autre et met une sourdine à ses propres envies. Il essaie de devancer ses besoins et cherche par tous les moyens de rendre la vie de l'autre plus agréable (ce qui inclut le sexe).

La personne qui se livre à ce type de comportements est-elle réellement amoureuse ? En tant qu'observateur, nous n'en savons rien. Parfois, la différence de niveau des comptes en banque respectifs nous laisse croire à la vénalité d'un des deux protagonistes... Toujours est-il que l'inverse – une personne qui ne fait pas attention à l'autre – définit l'absence d'amour.

Le chapitre sur l'attention exogène (cf. chapitre 7) nous a expliqué pourquoi et comment une situation extra-ordinaire, ou imprévisible, attire irrémédiablement notre attention. Parmi toutes les personnes que je

26 inscrit (par exemple) dans la Déclaration d'Indépendance des USA, 4 juillet 1776.

« Tous les Hommes sont créés égaux, ils sont dotés par le Créateur de certains droits inaliénables ; parmi ces droits se trouvent la vie, la liberté et la recherche du bonheur. »

croise, je vais faire attention à celles qui me surprennent parce qu'elles ne font pas partie de mon quotidien. Mais dans le même temps, cette situation (la personne rencontrée), qui est parvenue au plus haut niveau de mes cartes corticales, doit entrer en résonance avec mon vécu – de la même façon qu'un trait d'intelligence exprime la découverte de nouveaux liens entre deux objets jusqu'alors séparés (cf. chapitre 11). En effet, s'il n'y a pas synergie et baisse concomitante de l'activation neuronale, alors la personne rencontrée est effectivement un étranger sans autre intérêt pour nous.

Si la rencontre d'une personne nouvelle se solde par un « Wow ! », alors ce que vous voyez en elle résonne avec des choses que vous avez mémorisées dans le passé. Cela s'appelle un « coup de foudre ».

Coup de foudre :

Les coups de foudre sont prévisibles pour qui connaît votre histoire. Ils impliquent une personne qui n'appartient pas à votre quotidien. Par exemple, les grandes blondes flashent sur les hommes petits et bruns – plutôt rares au pays des Vikings. Ils impliquent aussi une personne dont certains aspects rappellent ceux de votre quotidien, puisqu'il doit y avoir résonance avec votre vécu. Un conseil pour les dragueurs : avoir l'air différent tout en étant classique !

Il est facile de comprendre comment une personne peut avoir l'air différente de toutes les autres : look, allure, taille, couleur, manières, etc. Il est tout aussi facile de comprendre pourquoi une personne résonne en nous et pas les autres : la voix me rappelle... la couleur de ses cheveux est la même que... son sourire m'évoque...

Une mémoire peut donc avoir un coup de foudre. Comment faire maintenant pour qu'elle montre un comportement amoureux ? Facile : votre « coup de foudre » obtient de fait votre attention, et comme l'activation neuronale que génère sa « différence » est en permanence réduite par son adéquation avec votre « attente », le processus se renforce. Plus je fais attention à l'autre et plus je me sens bien ! Vous voyez l'autre de plus en plus souvent, et donc de plus en plus de vos neurones sont partie-prenante de situations (souvenirs) qui l'impliquent. Bientôt, je pense continuellement à l'autre, qu'il soit présent ou absent. En effet, les neurones associés à des souvenirs l'impliquant sont nombreux et ils ont besoin de s'activer de temps à autre. Lorsqu'ils le

L'AMOUR, C'EST QUOI ?

font, ce sont des souvenirs liés à l'autre qui surgissent à ma conscience (plus exactement, que je verbalise – cf. chapitre 9).

Évidemment, en pensant ou vivant continuellement avec l'autre, je vis de très nombreuses situations l'impliquant. Ces situations modifient certaines de mes cartes corticales, qui deviennent très précises dès lors qu'il s'agit d'analyser l'autre. Avant n'importe qui, je saurai s'il/elle va bien ou pas. Je saurai mieux que quiconque, ce qui lui plaît ou ne lui plaît pas, etc. Ce genre de capacités nous permet d'être extraordinairement prévenant avec l'autre, à un niveau auquel il/elle ne peut pas être habitué(e). Nos actions entreront en synergie avec ses attentes. Il/elle y trouvera du plaisir, il/elle y fera attention, ce faisant il/elle fera plus encore attention à nous et l'amour que nous lui prodiguons nous sera donc rendu.

Il y a un risque associé à une telle fusion : en cas de disparition de l'autre, celui qui reste peut être sujet à une dépression réactionnelle (cf. chapitre 19).

CONSCIENCE, INTELLIGENCE, LIBRE-ARBITRE ?

15. Quelle est la différence entre un homme et une femme ?

Il n'y a pas de différence physique mesurable entre les cerveaux des hommes et des femmes. La taille du corps calleux joignant les deux hémisphères – que l'on a longtemps cru plus épais (et donc contenant plus de fibres) chez les femmes – est identique entre les deux sexes. La taille du cerveau chez la femme est plus réduite que chez l'homme, mais exactement dans les mêmes proportions que la différence de taille et de poids du corps complet. Il n'y a donc pas l'ombre d'une raison physique au niveau cérébral pour expliquer les différences de comportements que l'on observe entre l'homme et la femme.

Certains scientifiques vont d'ailleurs jusqu'à questionner l'existence de différences intrinsèques, et les travaux relatifs aux compétences scolaires leurs donnent raison : les filles sont dans les faits aussi douées que les garçons en mathématiques, en géométrie, etc. Une hypothèse crédible pour expliquer cette absence de différence met en avant le fait que ces compétences sont acquises. Disposant des mêmes enseignements (classes mixtes), les cortex des deux sexes réussissent les mêmes apprentissages.

Là où la différence est sensible, c'est au niveau des processus cognitifs eux-mêmes, qui sont des processus plus fondamentaux sur lesquels l'apprentissage n'intervient que pour renforcer une fonctionnalité. Parmi les processus fondamentaux les plus démonstratifs d'une différence, il y a l'attention partagée (faire attention à deux choses à la fois) et la planification (organiser le futur).

Les différences dans ces deux domaines sont évidentes. D'où viennent-elles ?

Rappelons-nous que le cerveau est une mémoire des événements. Les événements sont les informations parvenues à nos capteurs sensoriels. Ces événements se caractérisent par un certain nombre de valeurs dans un certain nombre de modalités (ou dimensions). Ces modalités sont variées : ouïe, odorat, toucher, vision, mais aussi vitesse, accélération, couleur, température, forme, luminance, etc. Un événement est codé par un sous-ensemble de valeurs et non pas par toutes. Par exemple, l'événement peut avoir une couleur, une forme, une vitesse (et ressembler à une Porsche rouge) et aucun goût ou température (ce qui est normal). Il y a cependant deux modalités qui sont associées à tout événement²⁷ : le lieu où il se produit et la date à laquelle il se produit. **Notre cerveau associe donc à chaque événement mémorisé le lieu et la date.** Nous en prenons conscience lorsque nous trouvons la réponse à des questions telles que : « Qu'ai-je fait hier à 15 h ? », « Suis-je déjà venu ici ? »

Je pense²⁸ que hommes et femmes sont différents dans l'utilisation de ces deux index (fig. 15.1) :

- **l'homme utilise comme élément principal le lieu,**
- **la femme utilise comme élément principal la date.**

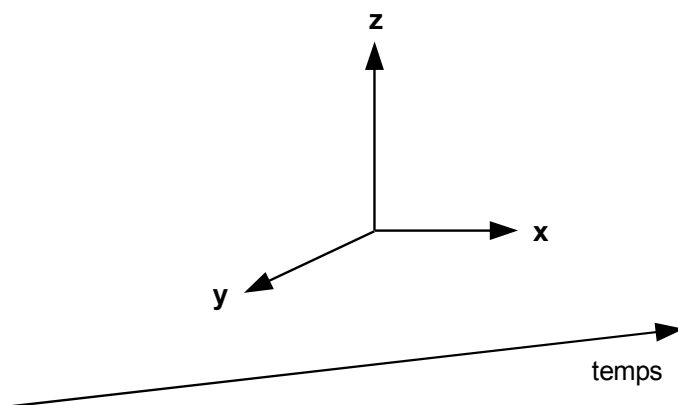


Figure 15.1 – L'espace : 3 dimensions. Le temps : 1 dimension.

27 Charles R. Gallistel, *The Organization of Learning*, MIT Press, 1993, 662 pages, ISBN : 978-0-262-57098

28 Je n'ai pas (encore) d'explication pour expliquer pourquoi il pourrait en être ainsi.

QUELLE EST LA DIFFERENCE ENTRE UN HOMME ET UNE FEMME ?

L'attention partagée est mise en évidence dans la « double-tâche », une expérience durant laquelle il faut réaliser deux choses en même temps. Aucune de ces deux activités ne doit pouvoir se faire automatiquement. Il faut que chacune vous oblige à « réfléchir », c'est à dire qu'elle implique les cartes corticales des plus hauts niveaux d'abstraction. En fait, il est impossible de faire deux activités impliquant les mêmes cartes corticales en même temps. En revanche, il est tout à fait possible de passer rapidement de l'une à l'autre et inversement. Si le passage est suffisamment rapide (quelques fois par seconde), alors un observateur pourra croire que nous faisons les deux choses à la fois.

Quand vous passez de la tâche A à la tâche B, vous devez mémoriser où vous en êtes dans la réalisation de la tâche A – pour repartir de ce point-là dès que vous aurez fini un petit morceau de la tâche B. Par exemple, si vous répondez au téléphone (A) tout en cuisinant une nouvelle recette (B), pour avoir un discours cohérent avec votre interlocuteur il faut impérativement se rappeler ce qu'il vous a dit, ce que vous avez dit, ce dont vous voulez lui parler, à chaque fois que vous vous interrompez pour avancer dans la préparation culinaire : une première fois pour un coup d'œil au livre, une seconde pour ouvrir le réfrigérateur, une troisième pour vous saisir de 3 œufs, une quatrième pour les œufs qui restaient à prendre, une cinquième pour trouver un fouet, une sixième pour casser le premier œuf, une septième pour jeter la coquille vide, etc. Comme nous le constatons, beaucoup d'interruptions avec nécessité de se rappeler exactement où l'on en est dans la réalisation de chaque tâche.

Même si entre le moment où nous avons quitté la tâche A et le moment où nous l'avons reprise il ne s'est écoulé qu'un instant, durant cet instant les cartes corticales de buts ont été activées par un autre but (celui de la tâche B, cf. chapitre 6). Pour pouvoir remettre en place le comportement A et qu'il soit cohérent, il faut retrouver en mémoire de travail le but A et son contexte. C'est facile si vous posez la question à la mémoire avec la date : « Qu'est-ce que j'étais en train de faire il y a un instant ? » Comme le temps avance toujours, il n'y a jamais deux instants partageant la même date, et donc impossible de se mélanger les pinceaux. C'est beaucoup plus risqué si vous posez comme question à votre mémoire : « Qu'est-ce que je faisais à cet endroit-là ? » Car plus le temps passe et plus il y a eu de choses à cet endroit-là et donc plus il y a de risques de

se tromper ou de devoir réfléchir pour vérifier que ce qui émerge à la conscience est bien la bonne réponse.

Dans le contexte de la double-tâche, le tenant d'une stratégie de recherche en mémoire impliquant préférentiellement la date sera plus rapide et plus efficace (fig.15.2).

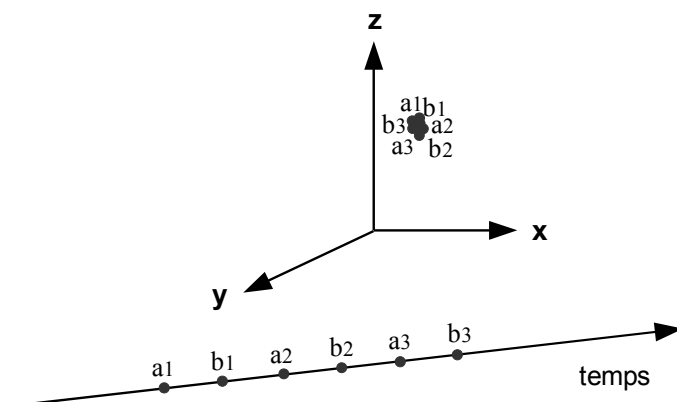


Figure 15.2 – Double-tâche : un peu de A (a_1), puis un peu de B (b_1), puis à nouveau A (a_2), etc. L'index de mémorisation lié à l'Espace n'aide pas à retrouver l'information. Tous les souvenirs liés à la tâche A (a_1 , a_2 , etc.) sont aux mêmes endroits que ceux liés à la tâche B (b_1 , b_2 , etc.). Ce n'est pas le cas pour l'index temporel, très efficace.

Qu'en est-il dans le cadre de la planification ?

- Si vous utilisez un index spatial, alors vous envisagez votre journée comme ceci : Le réveil sonne, je sors du lit, je passe aux toilettes, puis à la salle de bain. Je repasse par la chambre pour m'habiller, puis à la cuisine pour le petit-déjeuner. Les bols sont dans le placard du dessous, les couverts dans le tiroir de droite. Dès que l'aiguille de la pendule est sur 45, je sors et monte dans la voiture. Je vais passer par là et là. Si c'est encombré, plutôt par là. Je devrai trouver une place de parking devant le bureau, sinon certainement dans la rue qui prend sur la droite 20 mètres après. Je monte les 62 marches de l'escalier, ouvre la porte du bureau, et je m'assois et commence à bosser. Il faudra que j'appelle la personne qui habite à Trifouillis-les-Oies et aussi mon collègue de l'agence de Chaumac. Pour le repas du midi j'irai manger à l'angle de...

QUELLE EST LA DIFFERENCE ENTRE UN HOMME ET UNE FEMME ?

- Si vous utilisez un index temporel, alors vous envisagez votre journée autrement : le réveil va sonner à 7h25. Encore 4 minutes et 30 secondes couché pour profiter, puis 30 secondes pour les toilettes, 5 minutes pour la douche et il me restera 10 minutes pour le déjeuner. Comme les toasts cuisent en moins de 2 minutes, ça suffira largement pour en faire deux séries. A 7h45, je démarre la voiture. J'en ai pour 20 minutes s'il n'y a pas d'embouteillage – sauf qu'aujourd'hui c'est mardi et que le mardi n'est pas un bon jour. Il faudra peut être que je passe par ailleurs, mais j'ai peur de me perdre. C'est pas grave, j'attendrai. De toute façon, hier j'ai fait 25 minutes de trop au boulot, je peux me permettre d'être en retard aujourd'hui. Il me faudra 1 minute pour monter l'escalier, ce qui me laisse au moins 3h45 de boulot jusqu'à midi avec une pause bienvenue de 10 minutes à 10h00. A partir de 9h00, il faudra que j'appelle M. Dupont, qui n'arrive jamais avant à son bureau. Ce sera aussi le bon moment pour téléphoner à mon collègue de l'agence « je me rappelle plus où exactement » mais c'est celui qui a une voix charmeuse. A midi : restaurant. Où, je ne sais pas encore – en revanche pas plus de 30 minutes...

Chacune de ces deux personnes arrivera à l'heure à son travail et sera efficace. Pourtant l'une et l'autre sont différentes : la première (spatial) arrive facilement à destination en suivant un plan ; tandis que la seconde (temporel) se rappelle sans aucun mal des dates d'anniversaire de son conjoint, de celles de ses enfants et même de celles de ses ami(e)s.

L'entreprise est un lieu où (normalement) l'efficacité prime. Je ne suis donc pas surpris de constater que les patrons ont des secrétaires de direction « femme » qui gèrent leur agenda et planifient leurs rendez-vous (RDV), tandis que les patronnes recrutent des secrétaires de direction « homme » qui s'assurent que le timing entre les RDV tient compte des trajets nécessaires (entre autres). Les compétences des uns prenant en charge les difficultés des autres.

Le couple est également un lieu où index temporel et index spatial peuvent se compléter ou s'opposer. Organiser sa vie selon les endroits où l'on doit passer génère *de facto* des situations incompréhensibles pour celui qui s'organise selon un timing précis (et réciproquement).

Mais les différences vont beaucoup plus loin. La manière dont nous nous représentons le Monde dépend de la façon dont nous avons accès à nos souvenirs :

Pour un spécialiste de l'espace, c'est-à-dire des trajectoires et des lieux, le monde et ses éléments apparaissent principalement d'après leurs positions relatives et leurs relations de voisinage. Si ces éléments sont des concepts, alors les relations de voisinage entre éléments sont ce que nous nommons « la Logique ». De plus, si le lieu le change pas, alors la situation ou l'humeur ne change pas. S'il a dit une fois « je t'aime » dans cette maison, cela reste valable jusqu'à nouvel ordre (et vous ne l'entendrez plus). Si vous avez dit un jour « je me sens bien ici », il sera rassuré pour le restant de ses jours et vous l'ennuieriez en lui demandant chaque jour comment il va.

Pour une spécialiste du temps, c'est-à-dire capable de considérer chaque instant comme unique, alors le présent n'a pas de rapport avec le passé. Chaque instant est nouveau. Il est donc normal de se demander souvent si l'autre vous aime encore, et de se plaindre qu'il ne vous le dise pas assez souvent. De la même manière, l'humeur est une chose variable – puisque dépendante du temps qui passe et non pas du lieu. Il est donc raisonnable de faire attention à l'humeur d'autrui, de s'en inquiéter, et de prendre soin d'informer les autres de son état d'esprit avec (par exemple) un code vestimentaire. Pour elle, il est donc normal de se plaindre du manque d'intérêt récurrent manifesté à son égard par son partenaire « spatial ».

16. Comment caresser avec brio ?

Il y a deux objectifs à la caresse, soit l'apaisement, soit l'excitation. Celle qui demande le plus de connaissances est la première. Comme vous êtes désormais informé de l'organisation corticale (cf. chapitre 3), vous allez facilement comprendre les bases neuronales impliquées.

L'Homonculus est la représentation du corps sur le cortex sensoriel (fig. 3.4). Cette représentation respecte la densité des capteurs, c'est pourquoi les régions très sensibles du corps (lèvres, doigts) occupent une plus grande surface corticale que les régions moins sensibles (dos, jambe). De plus, la représentation corticale respecte la continuité : ce qui est voisin au niveau du corps est voisin au niveau du cortex.

Depuis les travaux de W. Penfield en 1950, qui a découvert la représentation corticale du corps (Homonculus) à l'occasion d'opérations de neurochirurgie, nos connaissances ont progressé et ont permis de corriger quelques petites erreurs. Ainsi la représentation corticale des organes génitaux (pénis et clitoris) qu'il a crus complètement à part, sont en fait là où nous les attendons : entre le haut des cuisses et le bas du ventre. Seconde correction, la jonction (au niveau cortical) entre la face et le reste du corps a lieu entre les lèvres et le pouce – normal si l'on se rappelle que dans le ventre de sa mère le fœtus suçait déjà son pouce. Ces deux sensations sont donc associées très tôt. Il est normal qu'elles soient voisines au niveau du cortex.

La caresse est perçue comme apaisante lorsqu'elle réduit l'activation neuronale globale du cerveau. Le toucher attire l'attention (attention exogène) et stimule les neurones correspondants au niveau de l'Homonculus. Les neurones voisins sont activés en retour (attention endogène) et permettent une remontée d'information plus rapide : nous pouvons considérer l'attention endogène comme une prédiction. Si le toucher s'est déplacé et a effectivement atteint la région de la peau

prévue, alors il y a synchronisation entre la prédiction et la perception. L'activation neuronale impliquée par la caresse s'arrête. Si la personne qui est caressée s'endort, c'est normal car le moment est propice : son cerveau traite moins d'informations que d'habitude.

A chaque instant, le cerveau prédit que la prochaine région touchée sera une région voisine de celle actuellement caressée. Si votre caresse respecte cette prédiction, alors elle est apaisante. Pour bien faire, votre vitesse de déplacement sur le corps de votre partenaire doit tenir compte de la surface occupée au niveau du cortex. Le nombre de neurones représentant le pouce est équivalent à celui des neurones représentant le dos. Le nombre de neurones « voisins » est donc équivalent. La prédiction implique de passer par tous les voisins : il faut donc que vous mettiez autant de temps à caresser le pouce que ce que vous en mettez à caresser le dos !

La caresse apaisante est celle qui respecte la prédiction réalisée par le cortex. Il y a quelques détails qui ne sont pas visibles sur l'Homonculus. Chaque côté du corps (droit et gauche) est connecté à l'hémisphère cérébral opposé (respectivement gauche et droit). Ceci signifie que si votre caresse passe d'un côté du corps à l'autre, la stimulation neuronale change d'hémisphère. La continuité de la représentation corticale n'étant pas respectée, la prédiction est impossible et la caresse n'apaise pas.

La caresse excitante est celle qui est destinée à « réveiller » le partenaire. Il s'agit donc de créer le plus possible d'excitations neuronales. Nous sommes aidés par la prédiction (attention endogène), qui place les neurones voisins (prédits) dans un état d'excitation préparatoire. Si nos caresses ne respectent pas continuité et vitesse optimale, alors les neurones excités seront ceux où notre main est passée, auxquels il faut ajouter les neurones prédits.

17. D'où viennent les lois, les tabous, les préjugés ?

Dans notre vie, il y a des choses que nous devons faire et ne pas faire. Selon la proportion de la société qui adhère à l'interdit ou à l'obligation, nous distinguons la loi, le tabou et le préjugé.

Les lois évoluent continuellement, elles sont spécifiques d'une société à un instant donné. Elles sont la plupart du temps en retard sur le consensus local et ne font qu'entériner des situations de fait. Ce qui était interdit hier devient autorisé, et ce qui était autorisé devient interdit. Passez la frontière et les choses changent. Les lois sont faites par les Hommes afin de garantir la paix sociale. Il s'agit d'assurer la pérennité de la société, en évitant les troubles. Les troubles sont des « discontinuités » au sein de la société qui sont inévitables puisque les Hommes changent.

Hommes et femmes changent parce qu'ils sont des mémoires. Comme ces mémoires apprennent, elles se modifient continuellement. Leurs motivations et leurs comportements dépendent de leurs mémoires (cf. chapitre 6), lesquelles cristallisent un environnement en perpétuelle évolution. Certains changements ont lieu plus tôt ou plus vite dans certains milieux sociaux. Selon que les résultats sont des discontinuités de taille réduite (que l'on peut qualifier d'évolutions), ou des discontinuités de taille importante (que l'on peut qualifier de révolutions), la loi s'adaptera aux premières et évoluera pour éviter autant que faire se peut les secondes.

Les lois sont faites par les Hommes, en fait par leur cortex. Le législateur, spécialiste des situations de crise, recherche les actions qui permettront de passer de la situation actuelle « socialement instable » à une situation-but « socialement calme ». Son objectif est la « paix sociale ». Si la distance est grande entre la situation actuelle et la situation-but (parce que la loi évolue lentement ou que l'environnement

évolue rapidement) alors il faudra passer par des situations intermédiaires. Ce n'est plus un nouvel article de loi qui est promulgué, mais un arsenal de lois.

Les lois n'ont pas de lien direct avec les concepts de Justice ou d'Équité. Elles dépendent de l'expérience de ceux qui les écrivent et les votent. Si leurs vécus étaient différents, les solutions retenues (les lois) seraient différentes. Les lois dépendent aussi de l'évolution de la société. Cette évolution est soumise au hasard. Certaines découvertes engagent la société dans une direction, certains accidents géologiques ou climatiques nous poussent dans une autre direction, etc.

Bref, les lois des Hommes sont destinées à maintenir le *statu quo* dans une société d'individus doués de mémoire en interaction avec un environnement changeant. Il n'est donc pas surprenant que les lois soient mal faites et qu'il faille souvent revenir à l'Esprit de la Loi, plutôt qu'à la version littérale, pour être efficace.

Les tabous sont des choses que nous ne faisons pas, parce que personne ne les fait. Nous n'en connaissons pas les causes, mais nous les respectons « par habitude ». Certains tabous sont universels, tel celui de l'inceste dont nous savons aujourd'hui qu'il permet de réduire les risques liés à la consanguinité (augmentation des maladies génétiques). Certains tabous peuvent être repris par la Loi ce qui renforce leur efficacité (l'inceste est puni par la Loi française).

La différence entre un tabou et un préjugé est limitée au fait qu'un préjugé est personnel et ne représente pas ce que pense la majorité, tandis qu'un tabou est commun à une société, parfois à toutes (exemple : l'inceste).

Peut-on s'affranchir des tabous ? Pour pouvoir le faire, il faut déjà reconnaître qu'il s'agit d'un tabou. Ce n'est pas si facile, car si personne ne fait la chose interdite par le tabou, comment savez-vous qu'une telle chose est possible ? Il faudrait avoir de l'imagination, puis se rendre compte que la chose – bien que non dangereuse – est interdite.

Tabou robotique

Une expérience avec un bras de robot couplé à une carte auto-organisatrice peut nous aider à illustrer ce point. L'un des problèmes de la robotique est que le robot atteint une position à partir de mouvements

d'articulation (des rotations) réalisés par les moteurs (r_1 , r_2 , r_3), tandis que l'être humain visualise l'espace en coordonnées cartésiennes (x , y et z). Il faut donc transformer les coordonnées cartésiennes fournies par l'opérateur en coordonnées « robot ». Pour la Robotique, ceci implique des calculs complexes (inversions de matrices). La solution de la Biologie est différente. Il suffit d'apprendre (en laissant le bras de robot se déplacer aléatoirement) la correspondance entre les coordonnées (r_1 , r_2 , r_3) et (x , y , z).

Par exemple, ce qui a été fait²⁹, c'est d'accrocher une ampoule lumineuse au bout du bras de robot et trois cellules photovoltaïques sur les murs (fig. 17.1). Selon la position de la lampe, chaque cellule reçoit plus ou moins de lumière. Chaque position dans l'espace ne correspond qu'à une configuration de valeurs (x , y , z). Pour obtenir les coordonnées (r_1 , r_2 , r_3), on ajoute aux moteurs un capteur d'angle de rotation. A chaque instant, la carte auto-organisatrice est alimentée par les 6 coordonnées (x , y , z , r_1 , r_2 , r_3) de la position.

Après quelques heures d'apprentissage pendant lesquelles le robot se déplace aléatoirement, il est possible d'obtenir la correspondance entre coordonnées cartésiennes et « robot ». Si maintenant vous prenez l'ampoule en main, alors l'extrémité du robot va suivre vos mouvements. Si vous observez la carte auto-organisatrice, vous voyez les trajectoires que fait le robot. S'il y a un obstacle dans l'espace de travail du robot durant l'apprentissage, alors le robot n'a pas pu y aller et la carte auto-organisatrice ne contient aucune donnée correspondant à cette zone (fig. 17.2). Il est absolument impossible au robot lors de ses déplacements de passer par cette zone, même si l'obstacle n'y est plus et même si l'expérimentateur met l'ampoule lumineuse à cet endroit. Cette zone n'existe tout simplement pas pour le robot !

Comment faire quelque chose que personne ne fait ? En tant que mémoire, il est facile de refaire ce qui a été vu, entendu, ressenti, et pratiquement impossible d'innover, c'est-à-dire trouver des manques dans la carte codant les situations. En plus, même si vous vous adonnez au tabou, vous le ferez seul car qui d'autre va suivre ?

29 Ans, B., Coiton, Y., Gilhodes, J., and Velay, J. (1994) - A neural network model for temporal sequence learning and motor programming. *Neural Networks* 7, 1461-1476.

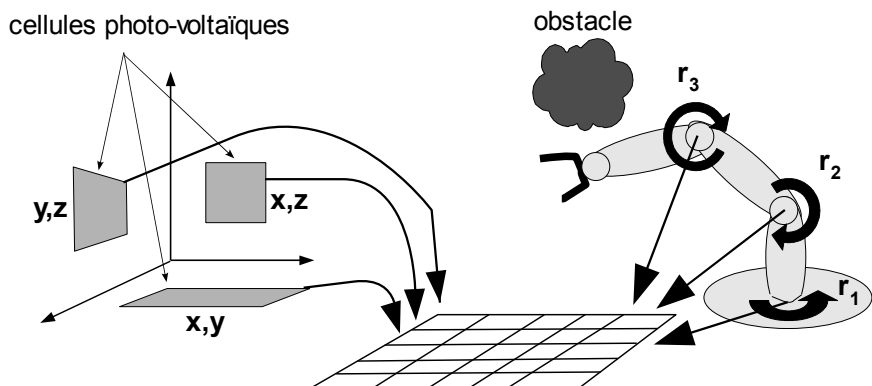


Figure 17.1 – Les cellules photo-voltaïques mesurent la lumière leur parvenant et donnent une estimation de la position³⁰ (x, y, z) de la lampe accrochée au bout de la pince du bras de robot. Cette même position est aussi mesurée par les 3 angles des axes du bras (r_1, r_2, r_3). La carte auto-organisatrice mémorise l'association cohérente entre la position cartésienne et la position « robot ». Ensuite, à partir seulement des coordonnées cartésiennes, la carte fournit les rotations à accomplir par les différents moteurs pour positionner la pince à cet endroit.

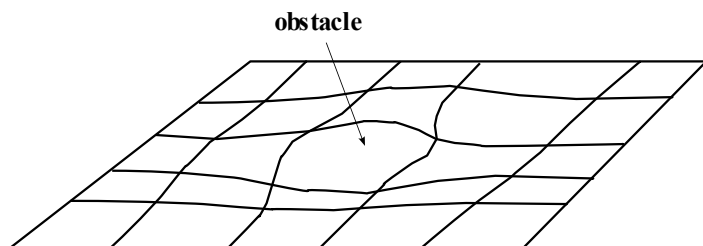


Figure 17.2 – Absence de codage pour les obstacles dans l'espace du robot et impossibilité de s'y rendre, même par erreur, car aucune action n'y mène. Le robot ne sait faire que ce qu'il a déjà fait.

Certains tabous sont très connus, comme celui de la nudité dans la société française du XXI^e siècle. Il a subi durant le siècle précédent quelques assauts, mais se maintient. La nudité étant « tabou », voir une

³⁰ En fait, cette estimation est obtenue à partir de 3 grandeurs qui sont des combinaisons des dimensions (x, y), (y, z) et (x, z).

D'OU VIENNENT LES LOIS, LES TABOUS, LES PREJUGES ?

filles dévêtues est rare et donc attirera notre attention. Les publicitaires en usent et en abusent, de même que les cinéastes, les animateurs de télévision et les créateurs de mode. Bref, sous le couvert de provocation, ces gens-là s'assurent que nous voyons bien ce qu'ils ont à nous vendre.

Tous les Français au sortir de l'enfance respectent ce tabou de la nudité. Puis, les années passant, petit à petit, quelques-uns d'entre eux vont constater que ce tabou n'apporte rien, voire qu'il limite leur qualité de vie, et ils vont s'en débarrasser. Nous les retrouverons par exemple sur les plages naturistes, où il sera facile de constater que le gros des bataillons a une solide expérience de la vie derrière lui.

Ce n'est pas un hasard. En effet, comment connaître les avantages et désavantages liés à une chose qu'on ne fait pas ? Il faut du temps pour que nous trouvions dans notre quotidien des opportunités d'essayer (que nous saisissons peut-être), beaucoup de temps ! Ces opportunités sont *grosso modo* proposées à tous de manière équitable, pourtant peu d'entre nous les saisissent. Seuls ceux qui les voient peuvent le faire, les autres ne sont simplement pas prêts.

A la différence d'un tabou, le préjugé est partagé par une minorité de personnes dans votre société. De fait, il est socialement valorisé de se débarrasser de ses préjugés (et à l'inverse de respecter les tabous). Connaître ses préjugés est facile : votre entourage se fera un plaisir de mettre en évidence tout ce qui n'est pas normal dans votre comportement. Cela peut être la phobie des araignées, la peur de la différence (racisme), ou l'infatuation (lorsque votre ego ne peut pas rentrer dans la même pièce que vous parce qu'il est trop gros). Comment perdre ses préjugés ? Comment les avez-vous eus ? Qui vous les a transmis ? Pourquoi les avez-vous respectés ?

Un préjugé est un jugement trop rapide d'une situation, qui ne laisse même pas le temps d'analyser effectivement la situation. Du coup, aucune réelle nouvelle expérience ne peut avoir lieu, et le préjugé persiste. Il suffit pourtant de vivre quelques situations en rapport avec votre préjugé, pour que votre cerveau emmagasine quelques informations complémentaires qui permettront une véritable analyse lors des prochaines situations.

CONSCIENCE, INTELLIGENCE, LIBRE-ARBITRE ?

18. Raisonner sans logique ?

Comme nous l'avons vu au chapitre sur l'intelligence (chapitre 11), comprendre quelque chose, c'est prendre connaissance d'une relation entre éléments jusqu'alors indépendants. Il s'agit de deux informations dont l'activation de l'une (sur une carte auto-organisatrice) n'active pas le neurone codant pour l'autre et réciproquement. Lorsque j'ai compris, et appris, alors l'activation de l'un des neurones active automatiquement l'autre. Une succession d'activations, débutant avec l'information initiale et se terminant avec l'information finale, doit être créée. Ceci ne peut être obtenu que si chacune des actions (mentales) appliquées a pour résultat un neurone et un seul finalement actif (représentant d'une connaissance intermédiaire). Une action dont le résultat aboutit à de nombreux neurones actifs ou à aucun, n'a pas d'avenir.

Les actions mentales disponibles ont obligatoirement été vécues. Elles correspondent à des **actions classiques de manipulation** des informations du Monde, et permettent de savoir si des informations sont : identiques, différentes, semblables, complémentaires, nouvelles. Ces actions proposent aussi de réaliser des opérations spatiales sur les informations telles que rotation ou homothétie (un déplacement qui respecte les proportions), etc.

Actions de comparaison entre deux informations sur une même carte auto-organisatrice (fig. 18.1) :

- *Identique* (a) : les activations générées par l'une et l'autre se recouvrent entièrement. La première information est présentée, l'activation correspondant sur la carte devient une hyperpolarisation. La seconde information arrive sur la carte, rien ne se passe (il y a pas d'activation créée).
- *Différente* (b) : les activations générées par l'une et l'autre sont

différentes. Lorsque la seconde information arrive sur la carte, de nouveaux neurones sont activés (il y a beaucoup d'activations créées).

- *Semblable (c)* : les activations générées par l'une et l'autre se recouvrent en grande partie. Lorsque la seconde information arrive sur la carte, certains neurones voisins sont activés (il y a peu d'activations créées).

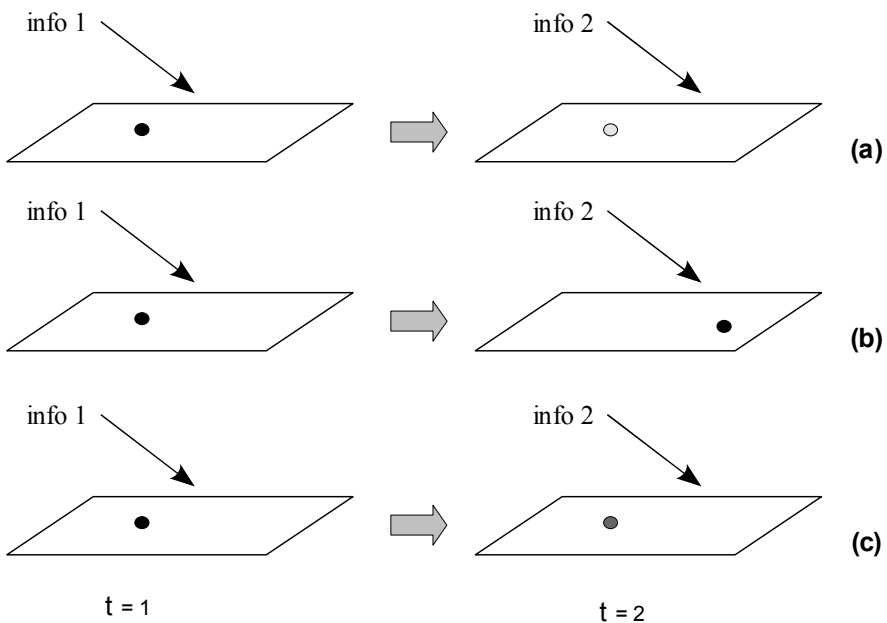


Figure 18.1 – Comparer 2 informations avec une même carte corticale : (a) : identique, (b) : différente, (c) semblable. La couleur plus ou moins sombre du neurone actif correspond à son niveau d'activation (noir : excité).

Actions de complétude impliquant une carte auto-organisatrice de plus haut niveau (fig. 18.2) :

- Une information active sur une carte de plus haut niveau les concepts auxquels elle est liée. Les connexions réciproques en provenance de la carte de plus haut niveau activent alors sur la carte initiale les autres informations moins (soustraction)

l'information initiale (qui depuis est passée dans un état hyperpolarisé). Ces informations sont les « complémentaires ». Par exemple, si l'activation initiale est « homme », alors l'un des concepts liés est « humain » et les activations résultantes correspondent à « femme », « enfant », « animal », avec un décours temporel dans l'activation (« animal » sera plus long à s'activer que « femme »). La carte initiale propose automatiquement les informations complémentaires de la plus proche à la plus éloignée, les unes après les autres.

Si ensuite une seconde information est reçue par la carte, et que rien ne se passe, c'est qu'il s'agissait d'une information complémentaire, dont la proximité peut être déduite de l'intervalle de temps qui sépare la présentation des deux informations.

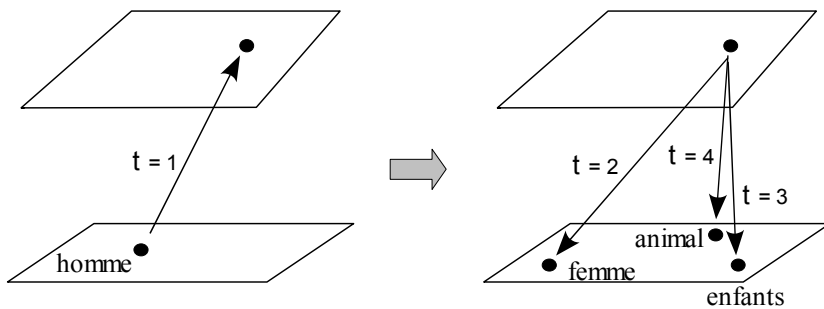


Figure 18.2 – Compléter une information avec une carte corticale de plus haut niveau.

Actions de transformation impliquant une carte auto-organisatrice « motrice » (fig. 18.3) :

La carte motrice est celle impliquée dans la réalisation des comportements (cf. chapitre 6). L'activation due à la première information est modifiée à partir du retour de la carte codant les paires (Situation finale - situation initiale, action).

- *Rotation* : si cette action est une rotation, alors la variation correspondante est appliquée. Situation initiale + (Situation finale - situation initiale) = situation finale après rotation.
- *Homothétie* : il suffit que l'action choisie soit une homothétie, on applique alors la variation de situation associée...

CONSCIENCE, INTELLIGENCE, LIBRE-ARBITRE ?

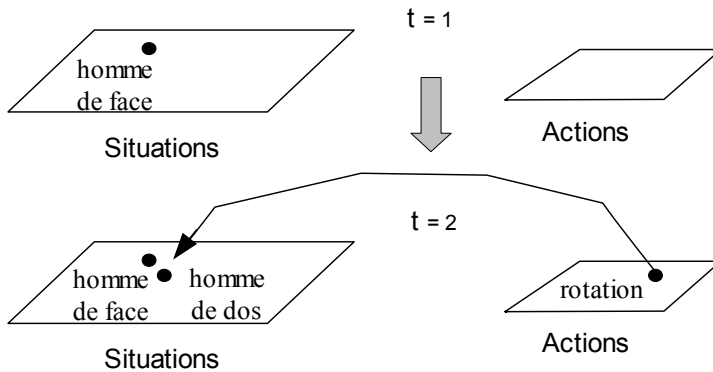


Figure 18.3 – Transformation des informations avec une carte « motrice ». Il s'agit par exemple de voir la situation sous un autre angle, un autre point de vue !

Actions de manipulation impliquant plusieurs cartes auto-organisatrices (fig. 18.4) :

- Le raisonnement **déductif** va du général au particulier. Il tire les conséquences d'une loi, d'un principe, d'une règle générale et les applique à un cas particulier.
Par exemple : Socrate est un homme. Tous les hommes sont mortels. Dédution : Socrate est mortel.
 Comment réaliser un raisonnement déductif avec des cartes auto-organisatrices ? La première phrase rend le neurone « Socrate » actif en même temps que celui codant le concept « homme » ($t=1$). La seconde phrase rend le neurone « hommes » actif en même temps que celui codant pour le concept « mortel » ($t=2$). Si les concepts d' « homme » (au singulier) et d'« hommes » (au pluriel) sont déjà liés (ce qui est normalement le cas) alors ces 4 activations en parallèle deviennent cohérentes et disparaissent, ce qui valide l'activation réciproque entre les neurones « Socrate » et « mortel » ($t=3$), et la mémorisation de cette nouvelle information.
- Le raisonnement **inductif** va du particulier au général. Il envisage un cas précis pour en tirer les implications à un niveau général.
Par exemple : Socrate est mortel. Socrate est un homme. Induction : les hommes sont mortels. Le neurone « Socrate » est

RAISONNER SANS LOGIQUE ?

actif en même temps que « mortel » ; de même pour « Socrate » et « homme ». Les neurones de « homme » et « hommes » sont liés, et « hommes » et « mortel » le sont aussi.

- Le raisonnement **causal** s'appuie sur les causes d'un fait, d'une situation, d'un phénomène pour en tirer des conséquences.

Par exemple : Les hommes finissent tous par mourir.
Conclusion : les hommes sont mortels.

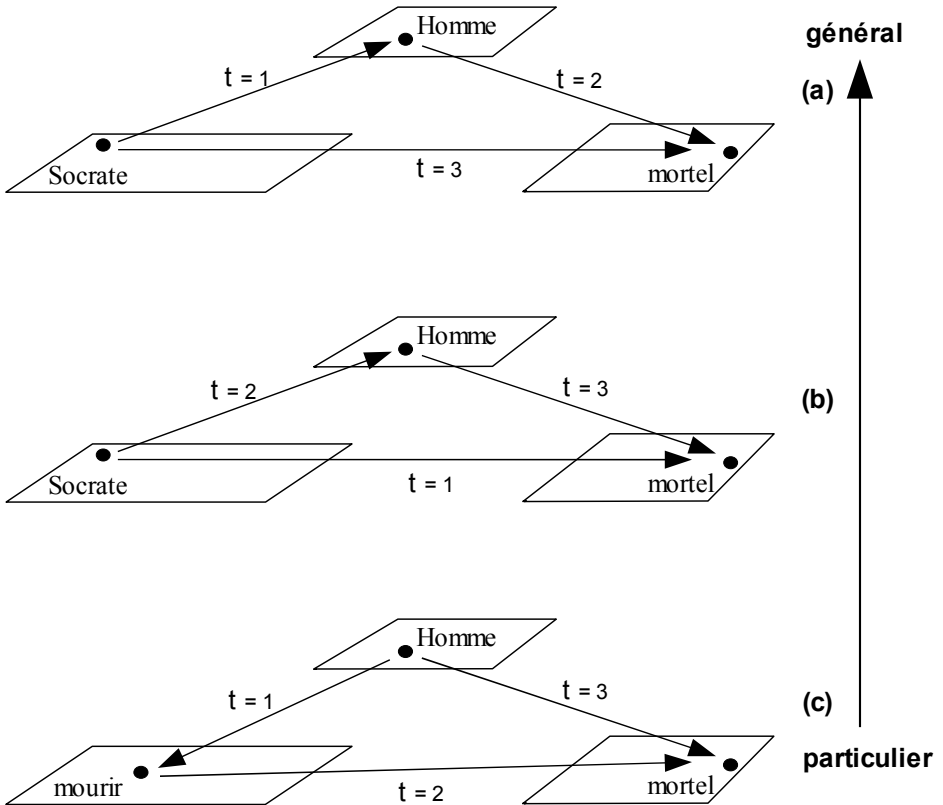


Figure 18.4 – Les raisonnements déductif (a), inductif (b) et causal (c) mettent en jeu 3 cartes corticales.

Manipulation impliquant une carte auto-organisatrice des « actions » :

- Les neurones « hommes » et « mourir » sont connectés, de même que « mourir » et « mortel », d'où la liaison de « hommes » avec

« mortel ». Le raisonnement **analogique** établit un rapport inhabituel entre deux domaines et en montre les ressemblances. De ce rapprochement naît une conception nouvelle. Ce type de raisonnement s'appuie sur des images, des comparaisons.

Par exemple : Socrate est mortel car c'est un homme et que tous les hommes sont mortels. Par analogie, Rex m'aime car c'est un chien et que tous les chiens aiment leur maître.

L'action qui met en relation les Socrate et les Hommes, est utilisée pour mettre en relation Rex et les Chiens.

Le plus déconcertant dans cette revue des différents modes de raisonnement est que leur réalisation « neuronale » est **identique**. Une fois les informations fournies posées, et les informations appartenant à la connaissance commune ajoutées, la conclusion est immédiate. Nous en déduisons donc que le raisonnement n'existe pas en tant que processus. Nous devons le voir comme la mise en œuvre d'une mémoire associative accessible par son contenu.

Le modèle de la carte auto-organisatrice a été proposé par T. Kohonen³¹ en 1977. Nous avons vu dans ce chapitre qu'une algèbre impliquant ces cartes permet de réaliser toutes les opérations intellectuelles que savent faire les hommes (même s'ils sont allés longtemps à l'école).

31 T. Kohonen, *Self-Organization and Associative Memory* ; Second Edition, Springer Series in Information Sciences, Vol. 8, Springer Verlag, ISBN 3-540-18314-0, 1987.

19. Quelles sont les bases neuronales des maladies mentales ?

Nous allons passer en revue quelques unes des maladies impliquant le cerveau. Ce sera bref et nécessairement imprécis, mais pas obligatoirement faux. L'objectif est d'illustrer le fonctionnement cortical par des exemples de son dysfonctionnement.

La folie / le génie ?

Dans les deux cas, il s'agit d'un comportement dont les raisons et la logique échappent à l'observateur, sauf qu'après quelques explications le comportement du génie devient compréhensible, mais pas celui du fou. Comment peut-on avoir un comportement illogique ? Par exemple, en sautant d'un but à l'autre avant que l'objectif ne soit atteint (comportement incohérent), ou avec des buts qui ne sont pas en accord avec la situation (comportement hors de propos), comme l'illustre la figure 19.1.

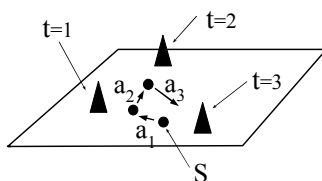


Figure 19.1 – Un comportement incohérent pour un observateur : changer trop rapidement de buts. A la date $t=1$, depuis la situation S , le but 1 est actif et permet de choisir l'action a_1 . A l'instant suivant ($t=2$), le but change ce qui implique une action qui ne s'explique pas vis à vis du premier but (S). A l'instant suivant, le but change à nouveau.

Dépression

La France est le pays le plus touristique de cette planète. Son climat, sa cuisine, ses vieilles pierres, ses paysages, ses 35 h, sa couverture médicale, ses prestations en cas de perte d'emploi, sa protection des salariés, ses avantages « acquis », etc., font l'envie de tous. Pourtant, la France est championne du Monde de la consommation d'antidépresseurs. Pourquoi ? Qu'y a-t-il de pourri au Royaume de France³² ?

La dépression se caractérise par une perte complète de la motivation, de la capacité à décider et à entreprendre. Nous avons vu au chapitre « comportement motivé » qu'il existe des « buts » qui jouent le rôle de sémaphores et permettent, quelle que soit la situation rencontrée, de choisir parmi les situations voisines possibles, celle qui nous rapproche de « ce » but à long terme que nous poursuivons. Si les sémaphores ont disparu, alors il sera impossible de décider quelle situation voisine privilégier et donc quelle action entreprendre (fig. 19.2).

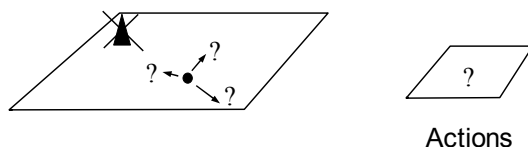


Figure 19.2 – La dépression : une absence de but.

L'absence de décision ne signifie aucunement la disparition de la question (que faire dans cette situation ?). De plus, le temps continue à passer et une nouvelle question va se présenter (que faire dans la nouvelle situation ?). Rapidement, un tel cerveau sera saturé de questions restées sans réponse. Son activation au niveau neuronal sera maximale, pour un résultat comportemental nul (perçu par un observateur comme de l'apathie).

Les neurones sont des cellules vivantes qui se fatiguent si elles sont trop sollicitées. Une activation neuronale maximale induit rapidement de la fatigue pour tous les neurones. Un neurone fatigué répond moins vite, ou plus du tout, à une sollicitation. Les réponses verbales d'une personne nerveusement fatiguée seront donc lentes et approximatives. La

³² Je paraphrase Shakespeare (*Hamlet*).

description que je viens de faire est celle d'un cercle vicieux : l'absence de neurones de « but » induit une sur-activation neuronale, qui induit une fatigue des neurones, laquelle empêche l'émergence de foyers d'activation neuronaux de type « but ».

Comment tout ceci a-t-il commencé ? On distingue deux grands types de dépression :

1. la dépression réactionnelle en réponse à un accident de la vie (perte d'un être cher par exemple),
2. la dépression chronique (liée au surmenage ou au stress par exemple).

1. La perte d'un être cher signifie (cf. chapitre 14) que, subitement, votre quotidien a changé. Si vous partagiez votre vie avec cette personne, il n'est pas faux de penser que 50 % de vos neurones codent des situations/souvenirs qui l'impliquent. Qu'advient-il de ces neurones maintenant que ces situations ne se reproduiront plus ? Comme les neurones sont des cellules vivantes qui ont besoin d'être excités de temps à autre (plusieurs fois par seconde), ils vont s'exciter spontanément. Cette excitation spontanée ne parviendra que très rarement à se synchroniser avec suffisamment d'autres neurones pour que le résultat soit une activation neuronale cohérente et interprétable sur la carte de verbalisation. Quelques fois seulement par jour des souvenirs de l'être cher vont spontanément émerger à notre « conscience » (cf. chapitre 9). Ce sera la partie émergée de l'iceberg : tout au long de la journée les activations neuronales intempestives vont surcharger et bruyé le fonctionnement du système nerveux.

La caractéristique d'un être cher, c'est qu'il fait partie de votre vie et donc les buts qui gouvernent nos comportements dépendent de lui. La personne ayant disparu, les buts ont disparu avec elle, à tout le moins les neurones « buts » ne peuvent plus être activés puisqu'ils étaient associés à des situations impliquant l'autre.

En résumé, des buts qui disparaissent subitement, une surcharge d'activité neuronale incohérente (et donc impossible à synchroniser et à faire disparaître) et nous voilà embarqué dans un cercle vicieux dépressif. La dépression réactionnelle est donc normale, ce qui n'empêche pas de vouloir en réduire les effets et la durée.

2. Avant de nous intéresser à la façon d'y parvenir, jetons un œil sur la dépression chronique. Prenons le cas de quelqu'un dont les attentes, les envies, les buts, ne sont jamais satisfaits. Chacune des situations qu'il vit ne se synchronise pas avec ce qu'il ressent. Chaque situation génère cependant une excitation neuronale qui va parvenir au plus haut niveau des cartes corticales, et ne jamais s'éteindre. Nous sommes donc en présence d'une activité impossible à synchroniser et à faire disparaître, comme dans le cas de la dépression réactionnelle. La spirale infernale est donc amorcée différemment, mais à terme les effets neuronaux et les effets comportementaux sont identiques.

Comment éviter la dépression ? Comment soigner la dépression ?

Il semble difficile d'éviter d'être affecté par la perte d'un être cher, donc d'éviter la dépression réactionnelle. Cependant, dans le cas d'une dépression chronique, la question se pose de savoir comment notre vie quotidienne a bien pu générer des attentes qui ne résonnent pas avec notre quotidien actuel ? En fait, il faut admettre que notre environnement valorise des situations qui sont inatteignables. Nous faisons nôtres ces buts à haute valeur sociale : « don de soi », « respect des règles », « jamais fatigué », « jamais peur », « jamais en défaut », « toujours souriant », « toujours efficace », « toujours poli », etc., puis nous constatons au quotidien que nous ne sommes pas à la hauteur de nos buts. Ce qui nous arrive ne résonne pas avec ce que nous devrions vivre, et nos neurones en subissent le contrecoup : une sur-stimulation que l'on appelle aussi un stress. Le chapitre « Comment être plus heureux ? » détaille différentes solutions pour éviter le stress et la dépression.

Les anti-dépresseurs sont nombreux. Votre médecin vous prescrira d'abord celui qui marche dans environ 70 % des cas. Après une dizaine de jours, s'il n'y a pas d'effet positif, il vous changera de traitement pour vous prescrire le second anti-dépresseur le plus efficace. Si vous faites partie des 20 % de la population qui réagit à ce médicament, tant mieux pour vous. Pour les 10 % des malades restants, il faudra essayer un troisième anti-dépresseur, etc.

Pourquoi ce qui marche pour certains ne fonctionne pas pour d'autres ? C'est pourtant la « même » dépression. Ce sont les mêmes symptômes, qui impliquent donc les mêmes fonctions mentales. Pourtant, il semble logique de penser que ces fonctions mentales ne sont pas réalisées avec

le même type de neurones selon les individus. C'est de mon point de vue un excellent exemple de la puissance de la neuroplasticité.

Pourquoi avec le temps qui passe, des choses, qui ne l'étaient pas, deviennent stressantes ?

Par exemple, lorsque nous travaillons 10 ans au même endroit, nous devenons un spécialiste de ce métier, de ce qui va nous arriver dans la journée. Le travail devient une routine, ce qui sort de la routine est ce dont nous avons alors conscience. Si le boulot, ou son environnement, est stressant, alors le stress prend le pas sur le quotidien (puisque celui-ci en étant prévisible, n'arrive plus à la « conscience »). Notre quotidien devient alors uniquement constitué de choses stressantes : le stress envahit notre vie, alors que le monde n'a pas changé (solution : changer de boulot).

Troubles de l'attention

Les troubles de l'attention attirent de plus en plus l'attention ! Ils ont été récemment médiatisés et nous sommes tous sensibles au fait qu'ils touchent aussi les enfants. Un enfant incapable de fixer son attention plus de quelques instants est considéré comme hyperactif. Il est vrai que pour un observateur naïf, enchaîner les activités les plus diverses sans s'interrompre peut faire croire à une énergie débordante impossible à canaliser. Ce n'est pas le cas. L'enfant est simplement incapable de fixer son attention. Tout et n'importe quoi mobilise son attention exogène, de même pour son attention endogène.

Comment cela est-il possible ? Nous avons vu au chapitre 7 que l'attention dépend des prédictions faites par chaque carte auto-organisatrice. Le système attentionnel transfère la nouveauté vers des niveaux d'abstraction plus élevés, afin que l'information y soit « comprise ». La synergie des attentions exogène et endogène est nécessaire pour permettre de véhiculer rapidement et efficacement l'information. Cette synergie entraîne *de facto* une focalisation sur la tâche en cours. Lorsque cette synergie fait défaut, il ne peut y avoir focalisation et le système nerveux reste ouvert à toutes les perturbations.

Je ne doute pas que des études futures permettront d'identifier les lieux impliqués dans l'hyperactivité. Voici quelques questions (fig. 19.3) :

1. Est-ce la prédiction à l'échelle de la carte auto-organisatrice qui est moins efficace (problème de connexion au niveau des voisinages) ?
2. Est-ce que les connexions réciproques sont moins nombreuses et donc l'attention endogène serait insuffisamment focalisée ?
3. Est-ce que l'organisation des cartes corticales est affectée par ces problèmes de focalisation, qui retentissent en retour sur les capacités d'extraction des régularités et donc de prédiction ?

Comment rééduquer les personnes souffrant de troubles de l'attention ?

- Manipuler l'environnement pour qu'il n'y ait que peu d'occasions de stimuler l'attention exogène (appauvrir l'environnement).
- Veiller à ce que les expériences vécues soient complètes (c'est-à-dire que les situations s'enchaînent dans la durée).

- Au besoin, ralentir la vitesse à laquelle évolue l'environnement.
- Stimuler l'activité des connexions réciproques responsables de l'attention endogène en verbalisant la situation et en manipulant l'environnement pour qu'il y ait toujours plusieurs modalités sensorielles impliquées (en prenant soin qu'elles soient cohérentes).
- Vérifier que l'organisation des cartes corticales de bas niveau est correcte (éviter que des informations normalement voisines soient éloignées et réciproquement que des informations différentes soient voisines sur la carte) et, le cas échéant, compléter ou refaire leur apprentissage afin que la continuité topologique de la projection des situations du monde soit respectée (cf. chapitre 2).

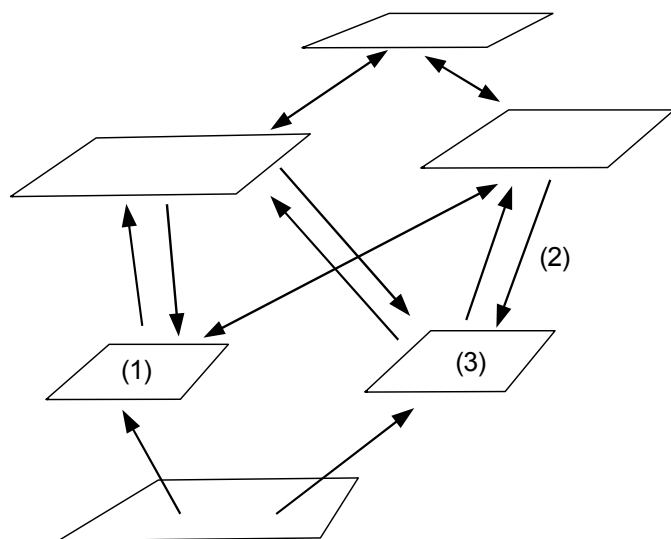


Figure 19.3 – Éventuels lieux impliqués dans l'hyperactivité :

- (1) connexions inhibitrices de voisinage moins nombreuses au sein des cartes,*
- (2) connexions top-down (attention endogène) moins nombreuses,*
- (3) mauvaise auto-organisation de la carte.*

Dyslexies

Les troubles de l'attention sont souvent associés à des dyslexies. Est-ce légitime ? On distingue plusieurs types de dyslexie : dysphasie, ...

Les « dys » sont reconnues et diagnostiquées à partir de tests impliquant les fonctions cognitives (langage, résolution de problèmes, lecture, écriture). Dans tous les cas, il s'agit de fonctions cognitives de haut niveau, qui nécessitent un long apprentissage. Vraisemblablement, l'apprentissage ne s'est pas bien déroulé, puisque les performances finales sont différentes de la moyenne. En tant qu'observateur naïf, nous pensons que les performances sont inférieures à la moyenne, qu'il manque quelque chose. La réalité pourrait être différente.

Vous entendez le son « a » et le reconnaissez comme tel, même prononcé par un homme, une femme, un grippeux, un enfant, un étranger, en début de mot, au milieu d'un mot, en fin de mot, dans un nom, dans un verbe, etc. Prenons l'hypothèse où les régularités extraites par les cartes auto-organisatrices soient telles que la personne entende et reconnaisse un son « a » spécifique à chacun de ces cas. Ce n'est plus un unique son « a » qui existe, mais des dizaines de sons différents. Il sera dès lors difficile de trouver des régularités dans la langue, puisque tout n'est que cas particulier. C'est le cas du chinois écrit avec un motif pour pratiquement chaque mot. L'apprentissage en est très long par rapport à celui d'une langue basée sur un alphabet. Dans le cas des dyslexies liées à la lecture, la disparition des troubles de la lecture à l'âge adulte dépend uniquement du nombre de livres lus, donc de la durée de l'entraînement. Je vous propose d'en déduire que le temps nécessaire à un dyslexique pour devenir un « lecteur expert » (ce qui est le niveau normal lors de l'entrée au collège) est utilisé pour faire de lui un expert dans chacun des mots de la langue. Il y a donc un parallèle entre la durée requise pour devenir un lettré en chinois et le temps nécessaire au dyslexique pour devenir un lecteur normal. Certaines dyslexies seraient donc dues à un apprentissage trop efficace et une absence de généralisation.

Remède : vérifier que les cartes auto-organisatrices généralisent correctement, au besoin manipuler la base d'apprentissage pour que les exemples (situations) impliquent une supervision. Il sera impossible de se tromper si à chaque situation est associée une information fournie par le superviseur (parent, éducateur, etc.).

Autisme

Le nombre de cas a augmenté de 57 % entre 2002 et 2006. En 2006³³, un enfant de 8 ans sur 100 est autiste (USA). 4 % des enfants nés en 2010 seront autistes. Si cette tendance se confirme, 10 % des enfants nés en 2018 seront autistes !

Les causes de l'autisme sont encore inconnues, vraisemblablement liées à des facteurs environnementaux comme la pollution. Dans le cadre de cet ouvrage, nous sommes surtout intéressés par le fait qu'une des hypothèses pour expliquer les troubles affectant les autistes, repose sur une maturation trop rapide de certaines cartes corticales, notamment celles impliquées dans la reconnaissance des visages et des expressions faciales, dont nous comprenons la nécessité pour la communication sociale. Cette hypothèse présente l'avantage d'être en cohérence avec le ressenti des parents qui, pendant les deux premières années de leur enfant (autiste) ne soupçonnent rien et même le trouvent plus éveillé et en avance que les autres enfants de sa classe d'âge. La période critique pour l'apprentissage de cette compétence se terminerait trop tôt, avant l'acquisition de ladite compétence.

Cette hypothèse présente une analogie avec la dyslexie (page précédente) au sens où il s'agit dans les deux cas d'un apprentissage trop rapide et/ou trop efficace, avec une capacité de généralisation insuffisante.

33 Prevalence of Autism Spectrum Disorders – Autism and Developmental Disabilities Monitoring Network, United States, 2006. *Surveillance Summaries*, December 18, 2009 / 58(SS10);1-20

Sommeil

Beaucoup (20 à 30 %) de personnes estiment que la qualité de leur sommeil n'est pas bonne. La consommation française de somnifères (benzodiazépines) est d'ailleurs la plus importante du Monde. Pourtant, lorsque l'on cherche à objectiver leurs problèmes de sommeil, on s'aperçoit que la durée du sommeil est correcte, et que les différentes phases de sommeil, qui culminent avec le sommeil paradoxal, sont présentes. Il semble donc que ce soit la qualité de l'endormissement qui pèche.

Avons-nous besoin de dormir ?

Oui, les expériences de privation de sommeil prouvent qu'après quelques nuits blanches, votre caractère en restera altéré toute votre vie et si vous prolongez l'absence de sommeil vous mourrez.

Pourquoi avons-nous besoin de dormir ?

Ce n'est certes pas pour reposer le corps (muscles), qui est aussi bien assis que couché. Est-ce pour reposer les neurones ? Non, car les enregistrements EEG (électroencéphalogramme) montrent que durant l'intégralité de notre sommeil, nos neurones continuent à travailler (décharger) à peu près aussi souvent que lorsque nous sommes éveillés.

Durant le sommeil, les connexions qui relient le cerveau avec la périphérie (reste du corps) sont coupées, tant au niveau des actionneurs (muscles) que des capteurs. Du coup, nous pouvons rêver de courir sans bouger une fibre musculaire, tandis que pour nous réveiller il faudra des cris. Selon le moment où nous sommes réveillés durant la nuit, il peut nous être difficile de trouver nos marques et d'être efficace. Nous éprouvons alors la sensation que notre cerveau est brouillé : c'est effectivement le cas.

Voici une hypothèse que j'ai formulée très récemment et qui explique pourquoi tout animal doté de neurones doit dormir. Je la résume ici : nous devons dormir pour que nos idées s'éclaircissent !

Plus précisément, pendant l'éveil, l'activation neuronale du cortex est complètement localisée : une colonne corticale par-ci, une autre par-là, en faisant en sorte qu'à aucun moment deux colonnes corticales voisines

ne soient actives en même temps. Cette individualisation de l'activation neuronale est obtenue grâce aux connexions latérales inhibitrices qui garantissent à la colonne corticale la plus rapide à s'activer, d'être seule à le faire.

Les connexions (excitatrices) à longue distance entre foyers d'activations sont renforcées par l'application de la loi de Hebb³⁴. Par contre, du fait même de l'efficacité de la connectique inhibitrice latérale, les connexions inhibitrices ne peuvent pas être renforcées par la loi de Hebb. Le problème est que l'on ne connaît aucune autre loi pour expliquer comment des connexions peuvent se renforcer, et que de plus, les connexions inhibitrices (efficaces) perdent de leur efficacité au cours du temps. Notez que les connexions, même inhibitrices, sont renforcées si les neurones amont et aval sont actifs dans la même fenêtre temporelle (Hebb). Une telle situation se présente lorsqu'une onde de dépolarisation parcourt de proche en proche l'ensemble des colonnes corticales. C'est le cas notamment lors des stades 3 et 4 du sommeil avec le rythme Delta (0.5 à 4 Hz, 200 microvolts).

Evidemment, lors de ces rythmes « lents », l'efficacité des connexions excitatrices à longue distance va diminuer (puisque seules les colonnes corticales voisines sont activées en même temps). Du coup, il est important de contrebalancer les effets des rythmes lents par des périodes de sommeil paradoxal (3 à 5 fois par nuit, pendant 10 à 20 minutes) durant lesquelles l'activation des connexions à longue distance est rejouée (jusqu'à 20 fois plus rapidement que dans la journée et ce en ordre dispersé). Au matin, rien n'a été perdu des activations (excitatrices) apprises la veille, et l'efficacité des connexions inhibitrices est à nouveau maximale, ce qui garantit une mise en correspondance précise entre les situations vécues et nos cartes corticales – bref, nous avons les idées claires !

Notez que la durée du « sommeil » est fonction de la quantité d'information apprise. Rien de tel que d'apprendre des choses nouvelles chaque jour pour s'assurer un endormissement rapide et un sommeil de plomb. Découvrez des choses nouvelles, lisez, discutez, bougez, etc., et vous allez tomber de sommeil.

34 Rappel : des neurones actifs dans la même fenêtre temporelle renforcent leurs connexions.

TOC

Lorsque vous faites plusieurs fois de suite la même chose, comme par exemple vérifier que la porte est bien fermée, ou que les crayons sont bien alignés, ou que vous vous êtes bien lavé les mains, cela s'appelle un TOC (Trouble Obsessionnel Compulsif). Ce n'est pas particulièrement grave, si ce n'est que vous perdez du temps, et que vous risquez de vous abîmer la peau à force de frotter. Par contre, cela est souvent mal vécu par votre entourage. Ces comportements répétitifs peuvent inquiéter l'observateur non averti.

Comment expliquer cette répétition des comportements ? Dans le chapitre 6, nous avons vu que les comportements sont initiés et définis par des buts, en fait des situations qui jouent le rôle de sémaphores. Lorsque la situation-but correspond à la situation actuelle, alors ce but est effacé, et un nouveau but est activé qui définit un nouveau comportement. Si l'effacement se fait mal, alors la situation-but persiste et le comportement précédent est réalisé à nouveau (fig. 19.4).

Pourquoi la situation-but ne s'efface t-elle pas correctement ? Deux possibilités : il y avoir trop d'attention endogène et/ou pas assez d'attention exogène (cf. page 119 – Troubles de l'attention).

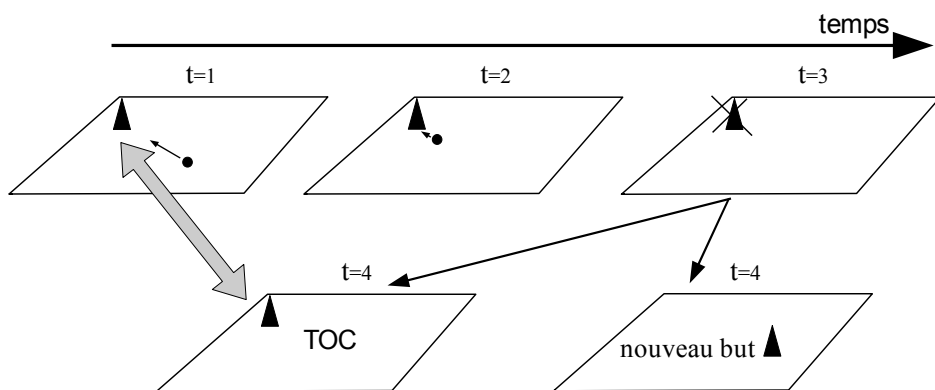


Figure 19.4 – Les Troubles Obsessionnels Compulsifs (TOC) seraient liés à un problème d'effacement du but poursuivi ($t=1$ et $t=2$), dès lors que celui-ci a été atteint ($t=3$). Le TOC repositionne le même but ($t=4$) au lieu de passer à un nouveau but.

Traumatisme crânien

Le traumatisme crânien se définit par une perte de connaissance après un choc à la tête. La durée de la perte de connaissance peut être de quelques secondes, ou se prolonger des années (coma). Ce qui est certain, c'est que 50 % des traumatisés crâniens se plaignent cinq ans plus tard de troubles de leur capacité d'attention.

Pourquoi ? Parce que lors du choc, il y a eu décélération brutale et comme le cerveau est constitué de régions anatomiques différentes qui n'ont pas la même densité, certaines zones ont bougé plus que d'autres. A la frontière entre ces régions, il y a eu un cisaillement des connexions (une région s'éloigne de l'autre). Il faut noter que ces cisaillements affectent les connexions à grande distance (entre cartes corticales). Les connexions à l'intérieur d'une même carte ne sont pas affectées (une même carte signifie une même région anatomique et donc une même densité).

Ce cisaillement entre les régions se produit au niveau du cerveau dans son ensemble. On parle alors de lésion « diffuse ». Les effets d'une lésion diffuse sont très variables, et dépendent des circonstances du choc et de la localisation des différentes cartes corticales, laquelle varie entre les individus. Ce qui est commun c'est que les processus attentionnels sont affectés. En effet, l'attention endogène et exogène implique les connexions entre les cartes. D'autre part, plus on monte haut dans la hiérarchie des cartes auto-organisatrices, plus les régularités extraites dépendent d'un nombre de cartes important, provenant de régions différentes. Il est donc normal qu'à la suite d'un traumatisme crânien, les capacités cognitives (lecture, planification, résolution de problème, etc.) soient prioritairement affectées (fig. 19.5).

La thérapie et la rééducation passent par la stimulation de l'attention. Le plus tôt, le mieux ! Mais il n'est jamais trop tard pour bien faire. Il y a un million de traumatismes crâniens par an en France. La chute est la première cause de mortalité chez la personne âgée.

QUELLES SONT LES BASES NEURONALES DES MALADIES MENTALES ?

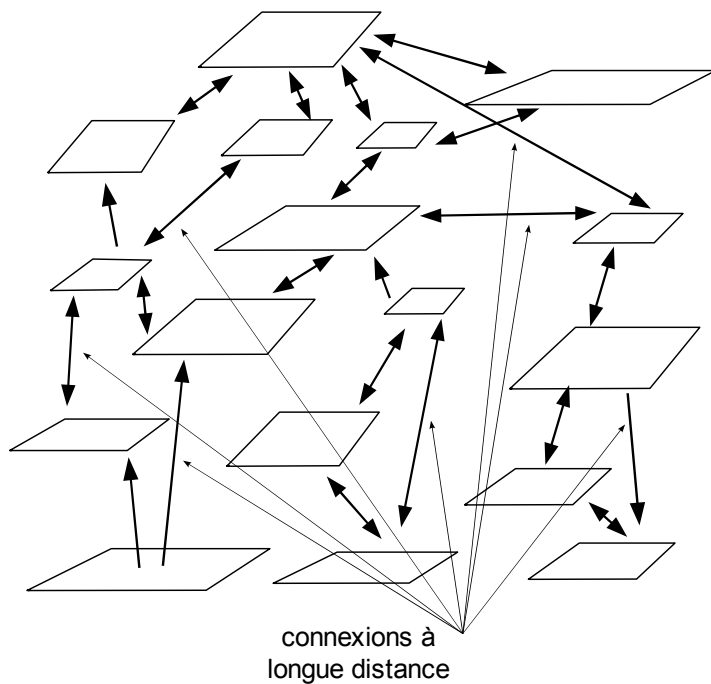


Figure 19.5 – Le traumatisme crânien cisaille en priorité les fibres « longues » et induit donc des troubles attentionnels.

AVC

Un Accident Vasculaire Cérébral (AVC) est la rupture d'une artère alimentant une région du cerveau. Les neurones qui dépendaient de cette artère pour leur nourriture et leur oxygène vont rapidement mourir. Comme il n'y a pas de relation très précise entre le réseau artériel et la localisation fonctionnelle des cartes corticales, les effets cognitifs engendrés par la disparition des neurones sont donc très variés. Dans un certain nombre de cas, le malade décède sur le coup. Si ce n'est pas le cas, la plupart du temps, la lésion n'affecte qu'un des deux hémisphères cérébraux et le malade est atteint d'hémiplégie. Un des côtés (droit ou gauche) du corps est paralysé (selon que l'hémisphère, gauche ou droit, est lésé). La mort instantanée d'un grand nombre de neurones perturbe le fonctionnement de tous les réseaux neuronaux. Cependant, avec les mois qui passent, on assiste à une récupération de fonctions qui avaient disparu suite à la lésion (marche, utilisation du côté paralysé, ré-apprentissage du langage, de la lecture, de l'écriture, etc.). Cette récupération ne se fait pas sans mal. Les personnes doivent littéralement ré-apprendre, c'est à dire repartir du tout début (fig. 19.6).

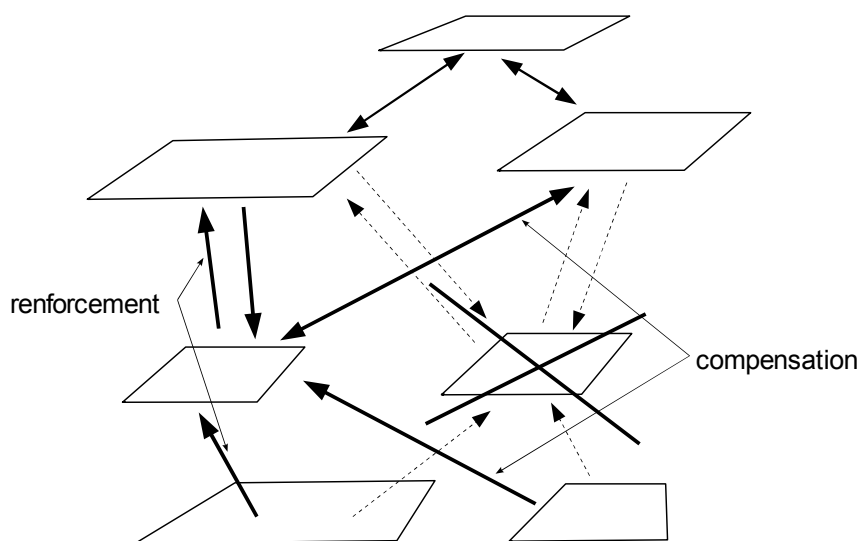


Figure 19.6 – La compensation après un Accident Vasculaire Cérébral passe par le renforcement des structures neuronales restantes.

QUELLES SONT LES BASES NEURONALES DES MALADIES MENTALES ?

Par exemple dans le cas de la lecture, il faut (ré)apprendre chaque lettre, chaque syllabe, etc. Comme les situations vécues impliquent des « a », des « b », etc., alors des cartes corticales extraient et mémorisent ces régularités. Ces cartes existaient préalablement à l'AVC et mémorisaient d'autres données. Elles sont obligées de se modifier pour tenir compte aussi de ces « nouvelles » situations. La neuroplasticité d'un cerveau jeune est plus importante que celle d'un cerveau âgé. La qualité de la récupération sera donc meilleure chez un sujet jeune.

Maladies neurodégénératives (Alzheimer)

La maladie d'Alzheimer affecte environ un million de personnes en France, avec 200 000 nouveaux cas par an. En fait, ces chiffres officiels sont faux. La maladie étant diagnostiquée après 10 à 20 ans d'évolution, le nombre de personnes atteintes est d'au minimum 3 millions, voire 5 millions. Rapporté à l'échelle de l'individu : à 60 ans, une personne sur 10 est atteinte. A 70 ans, ce nombre passe à une personne sur 6, puis à une personne sur 3 chez les plus de 80 ans.

Si le diagnostic de la maladie d'Alzheimer se fait de nombreuses années après l'apparition de la maladie, c'est que la neuroplasticité masque les effets délétères de la maladie. La neuroplasticité reconfigure les circuits neuronaux pour compenser la disparition des neurones. Ce n'est que lorsque 70 % (soixante-dix !) des neurones ont disparu que les symptômes deviennent visibles, que l'on consulte et que l'on est éventuellement diagnostiqué.

Comment notre cerveau peut-il fonctionner avec dans certaines régions 50 à 60 % de neurones en moins, sans que nous nous en rendions compte ?

En fait, la redondance du cerveau est d'un facteur 10 environ, ce qui signifie que pour une tâche donnée, nous avons 10 fois plus de neurones que strictement nécessaire. Ce que je viens d'écrire est FAUX ! C'est pourquoi je vous conjure de bien vouloir prendre le temps de lire la suite.

Nos neurones pilotent nos muscles, par exemple ceux qui assurent notre posture. A chaque instant, seul 10 % (au maximum) de nos fibres musculaires sont contractées. L'instant suivant, d'autres fibres musculaires (pour un total de 10 %) seront contractées et ainsi de suite. Il y a donc un roulement, avec 9 périodes de repos pour une période de travail. Nos fibres musculaires ne peuvent pas faire plus, elles dépensent beaucoup d'énergie pendant la contraction, énergie qu'elles doivent ré-emmagasiner.

C'est la même chose pour nos neurones. Une décharge électrique d'un neurone est un événement considérable à l'échelle de la cellule. La différence de champ électrique entre le milieu extérieur et l'intérieur de la cellule nerveuse est de -70 mV au repos. Si l'on compare cette valeur à la taille de la membrane (1 nm, soit 1 millième de millième de millième de

QUELLES SONT LES BASES NEURONALES DES MALADIES MENTALES ?

mètre), alors on obtient 70 millions de V/m. Lorsque vous vous trouvez au pied d'un pylône à haute tension, vous êtes à une dizaine de mètres d'un courant de 300 000 Volts. Vous expérimentez donc 30 000 V/m, et pourtant cela grésille et vos cheveux se dressent. Imaginez 2000 fois plus ! Dans ces conditions, les ions (qui sont des atomes chargés électriquement) pénètrent ou sortent (selon leur charge) de la cellule en passant (littéralement) à travers la membrane. Des pompes ioniques sont au travail en permanence tout le long de la membrane cellulaire pour rejeter à l'extérieur les ions en trop, et inversement. Ce que nous appelons un neurone au repos ne l'est absolument pas !

Lorsque la dépolarisation se produit, des canaux s'ouvrent dans la membrane et les ions en trop à l'intérieur de la cellule se précipitent à l'extérieur, tandis que ceux qui faisaient le forcing pour entrer entrent. Rappelez-vous, il s'agit de charges électriques dans un champ de potentiel de 70 MV/m. Il n'y a là aucune place pour la politesse, ce n'est même pas une bousculade, à l'échelle de l'atome c'est un maelström ! Pas de doute qu'il y ait un effet d'entraînement et, qu'au lieu que la dépolarisation s'équilibre à 0 mV, celle-ci monte jusqu'à +30 mV avant que les pompes ioniques puissent reprendre le contrôle de la situation et ramener petit à petit la cellule à son potentiel de repos. Ici encore, il y a un effet d'entraînement et les -70 mV sont dépassés. C'est la phase d'hyperpolarisation, pendant laquelle il est extrêmement difficile d'obtenir une nouvelle dépolarisation. Tout finit cependant par retourner à la normale (fig. 19.7).

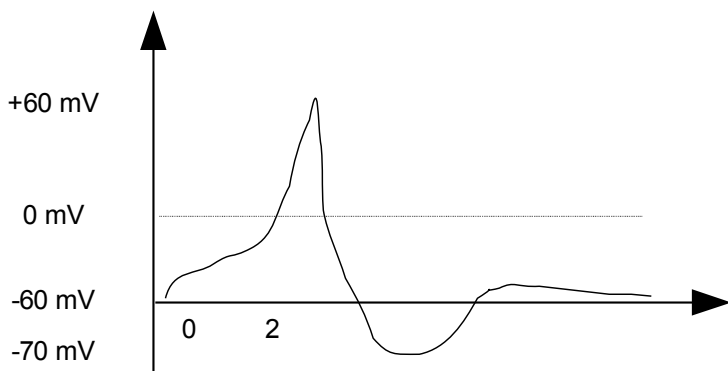


Figure 19.7 – Variation de la différence de potentiel de part et d'autre de la membrane d'un neurone lors du passage d'un potentiel d'action.

Ce paragraphe de la vie d'un neurone au travail vous a montré qu'être un neurone n'est pas une sinécure, et qu'il a besoin de « repos » entre deux excitations sinon il meurt. Nous comprenons alors toute la nécessité qu'il y a à ce que les neurones se relaient – comme les fibres musculaires – même s'il s'agit seulement de maintenir le même niveau d'excitation (pour les fibres : la même position). Nous savons que les fibres musculaires sont recrutées à quelques % à chaque instant. Ces fibres musculaires sont connectées à des neurones moteurs qui sont donc eux aussi quelques % seulement à être actifs à chaque instant. Ces neurones moteurs sont connectés à d'autres, qui sont donc aussi seulement quelques % à chaque instant (de tous ceux capables de faire la même chose). En résumé, à chaque instant, parmi tous les neurones capables de traiter correctement la situation, seulement 10 % environ sont actifs.

Si, à cause d'une maladie neuro-dégénérative, 50 % de vos neurones ont disparu³⁵, alors pour faire face à chaque instant avec exactement le même nombre de neurones qu'avant vous devez recruter 20 % d'entre eux (au lieu de 10 %). C'est possible, mais fatigant pour le système.

Les crises d'épilepsie sont le résultat d'un recrutement simultané de beaucoup des neurones. Lorsque la crise touche les neurones du cortex moteur, alors énormément de fibres musculaires sont excitées. Si une tierce personne essaie d'empêcher les mouvements de l'épileptique alors il y a des risques de fractures des os du fait de la trop grande tension exercée (surtout chez la personne âgée). La luxation (déboitement) de l'épaule est une complication qui s'observe aussi après une crise.

La sismothérapie (électrochocs) entraîne elle aussi un recrutement massif des neurones. A ses débuts (1943), avant la curarisation des muscles qui empêche leur contraction, des fractures osseuses étaient observées dans 2,8 % des cas³⁶ (notamment fractures des vertèbres).

Adrénaline

Dans des situations moins pathologiques, comme par exemple dans le

35 Gomez-Isla T, Hollister R, West H, Mui S, Growdon JH, Petersen RC, Parisi JE, Hyman BT. Neuronal loss correlates with but exceeds neurofibrillary tangles in Alzheimer's disease. *Ann Neurol*. 1997; 41: 17-24.

36 A. Bottéro, Histoire de la psychiatrie : Les débuts de la sismothérapie, *Neuropsychiatrie : Tendances et Débats* 1998; 3 : 27-32

QUELLES SONT LES BASES NEURONALES DES MALADIES MENTALES ?

cas d'un stress important, un afflux d'adrénaline facilite l'excitation des neurones, qui sont donc plus nombreux à traiter la situation. Le traitement et la prise de décision sont alors plus rapides. De même, les ordres envoyés aux muscles proviendront de neurones moteurs plus nombreux que d'habitude. Votre force sera décuplée. En doublant le nombre de neurones moteurs qui envoient une excitation aux muscles, il y a doublement du nombre de fibres musculaires contractées et donc doublement de la force. Les effets de l'adrénaline ne durent que quelques instants, mais durant ces moments votre cerveau est plus rapide. Vous ressentez, réfléchissez, décidez et exécutez 2, 3 ou 10 fois plus vite qu'à la normale. Vous avez la sensation que le temps a ralenti.

J'ai vécu ceci adolescent, lors d'un accident de moto. Ma moto s'est encastrée dans le plateau d'une camionnette que je n'avais pas vue (il faisait nuit et il pleuvait). Instantanément, j'ai su que j'avais eu un accident, j'ai pris le temps de faire en sorte que mes jambes ne frappent pas sur le guidon au moment où je m'envolais. Avant d'atterrir sur le goudron, j'ai fait attention de ne pas taper avec la tête (même si j'avais mon casque). Ça a duré longtemps. Pour les témoins, lorsqu'ils ont tourné la tête à cause du bruit, j'étais déjà par terre. A l'hôpital, j'ai constaté que les deux coutures intérieures de mon *jean* avaient lâché sur toute la longueur des cuisses. Pendant un instant j'ai été « Hulk » et ce sont mes muscles, avec un recrutement à 100 % des fibres musculaires dû à l'adrénaline, qui ont explosé mon *jean*.

Redondance et neuroplasticité :

Nous avons vu qu'il était normal que nous puissions vivre avec moins de neurones, car il y a redondance et neuroplasticité, c'est-à-dire plus de neurones que strictement nécessaire et la possibilité de changer leurs fonctions dans le temps. Lorsque les symptômes deviennent visibles, c'est que la neuroplasticité ne réussit plus à modifier les neurones restants pour exécuter correctement le traitement des situations.

Quelles sont les fonctions qui nécessitent le plus de neurones ?

La mémoire implique énormément de neurones, surtout la mémoire des situations que nous vivons (mémoire épisodique). Ce que vous avez mangé hier au repas de midi est différent (je l'espère pour vous) de ce que vous avez mangé avant-hier et de ce que vous mangerez aujourd'hui.

Ce souvenir est associé à des couleurs, des odeurs, un lieu, une date précise, un état d'esprit, etc., bref beaucoup de choses et donc beaucoup de neurones dont nous savons qu'ils sont surmenés dans une maladie neuro-dégénérative. La mémorisation se fera donc mal, surtout que ces neurones n'ont qu'une seule occasion pour apprendre.

A l'inverse, la mémoire culturelle, celle qui correspond au sens des mots, aux faits (14-18 ; 39-45), etc., n'est pas affectée au début de la maladie car ces informations ont été apprises il y a longtemps et que nous avons eu beaucoup d'occasions différentes pour les ré-apprendre le cas échéant.

Souvenirs d'enfance

Souvent avec étonnement, les personnes âgées découvrent des souvenirs enfouis et oubliés de leur jeunesse. Pourquoi ? Parce que les souvenirs sont des activations cohérentes d'une assemblée de neurones impliquant de nombreuses cartes auto-organisatrices. Les premiers souvenirs, ceux que nous avons mémorisés dans notre enfance, impliquent par définition la grande majorité des neurones puisque ce sont ces souvenirs qui ont construit les cartes. Plus le temps a passé, plus nos cartes se sont organisées et sont devenues détaillées. Plus les cartes sont détaillées et moins de neurones sont requis pour archiver un souvenir (puisque'un souvenir n'implique que quelques neurones par carte). Lorsque les neurones disparaissent, les souvenirs sont atteints, surtout les souvenirs récents qui ne sont pas codés de manière redondante. Il devient alors difficile de recréer l'ensemble de l'activation cohérente entre neurones correspondant à un souvenir récent. Les neurones restants font partie de divers souvenirs. Comme les souvenirs anciens ont été codés avec proportionnellement plus de neurones, ils sont moins affectés et se réactivent plus facilement. Un même neurone peut certainement appartenir à des centaines de souvenirs, mais seuls parviendront à notre « conscience » les souvenirs suffisamment « forts » pour activer nos cartes corticales dédiées à la verbalisation.

Stress et maladie neuro-dégénérative

D'où viennent les maladies neuro-dégénératives, telle que la maladie d'Alzheimer ? Une hypothèse est que le stress vécu par l'individu induit un stress de ses neurones, via des « radicaux libres » (oxydants), qui

QUELLES SONT LES BASES NEURONALES DES MALADIES MENTALES ?

attaquent les cellules, lesquelles doivent se fatiguer encore plus pour réparer, etc. Un argument à l'appui de cette hypothèse³⁷ est que les personnes souffrant d'inflammation articulaire suffisamment invalidante pour qu'il leur soit prescrit un anti-inflammatoire puissant (anti-oxydant), ne développent pas la maladie d'Alzheimer. Cette hypothèse expliquerait pourquoi la maladie d'Alzheimer n'est pas une dégénérescence localisée, les radicaux libres générés par le stress baignant *a priori* l'ensemble des neurones du cerveau.

Il serait utile de pouvoir caractériser l'impact du stress sur la survenue de la maladie. Il faudrait pour cela pouvoir évaluer la quantité de stress auquel s'expose un individu au cours de sa vie. Nous savons que le stress existe, qu'il entraîne la dépression (cf. plus haut) et peut conduire au suicide ; mais il n'est pas facile à mesurer. Dans une situation identique, telle personne sera stressée, mais pas l'autre. Nous avons vu que le stress est généré par une absence de résonance entre l'activation neuronale générée par la situation actuelle et les attentes de notre cerveau. Ces attentes sont notamment spécifiées par les buts qui organisent nos comportements. Il est aisé de comprendre qu'une situation vécue, différente de nos buts, ne va pas entrer en résonance et donc ne va pas disparaître. Le niveau d'activité globale du système est donc augmenté : le stress commence.

Le stress dépend donc des buts qui nous définissent individuellement. Nous verrons dans le chapitre « Comment être plus heureux ? » qu'il est facile de réduire notre niveau de stress.

37 J-C Desport et P Couratier - (2002) Stress oxydant et maladies neurodégénératives, *Nutrition clinique et métabolisme*, 16(4) : 253-259.

Perte d'autonomie cognitive

Le corps vieillit. L'ostéoporose et le cancer guettent ceux qui boivent du lait³⁸, les problèmes de tension ceux qui salent trop (la capacité à discerner le goût salé s'altère et il faut saler 9 fois plus pour maintenir la même sensation), la dénutrition et le manque d'énergie ceux qui n'ont pas compris que les réserves de graisse diminuent avec l'âge, comme diminuent aussi les capacités d'absorption de l'intestin (une personne âgée doit manger plus qu'avant pour récupérer autant d'énergie de sa ration alimentaire). Les performances des capteurs baissent (ouïe, vue, goût, etc.) et les neurones eux-mêmes sont usés (moins rapides).

Dans ce contexte de déclin des performances de notre corps, beaucoup tentent de réduire les chutes (première cause de mortalité de la personne âgée), en évitant toute prise de risque inutile. Comment limiter les risques ? Par exemple en contrôlant son environnement et en évitant toute « nouveauté ». Cela s'appelle des habitudes ou la routine. C'est à proscrire absolument ! En quelques mois la personne perd son autonomie cognitive, et son autonomie physique dans la foulée.

En effet, s'il n'y a plus de nouveauté dans notre vie, alors il n'y a plus de situation nouvelle, plus rien pour attirer notre attention, plus rien pour alimenter en stimulations les cartes corticales de haut niveau. Celles-ci vont devenir moins précises. Nous nous en apercevons parce que cette personne devient moins rapide à répondre, moins capable de résoudre un nouveau problème, moins apte à comprendre. A terme, les routines de protection du corps mises en place seront effectivement nécessaires, puisqu'une perte d'autonomie cognitive sera apparue (incapacité à gérer la nouveauté).

Pour éviter la perte d'autonomie cognitive, il faut garantir l'alimentation des cartes corticales de haut niveau en stimulations. Il faut donc vivre des situations nouvelles, voire les rechercher. Nombre de personnes âgées l'ont deviné et ont un emploi du temps plus chargé à la retraite que lorsqu'elles travaillaient. De plus, les études publiées en 2009, impliquant des populations suivies pendant plus de 7 ans, montrent que la seule différence face aux maladies neuro-dégénératives (type maladie

38 Dr Nicolas Le Berre, *Le lait... Une sacrée vacherie*, éditions Charles Corlet, 1990, 126 pages. ISBN : 2-87724-056-8

QUELLES SONT LES BASES NEURONALES DES MALADIES MENTALES ?

d'Alzheimer) découle du niveau de stimulation intellectuelle. Plus vous avez d'occupations stimulantes, moins vous avez de chances d'être frappé par la maladie. La différence atteint 50% entre les hauts et bas niveaux de stimulation cognitive³⁹. La chose importante, démontrée par ces études, est qu'il n'est jamais trop tard pour bénéficier de la protection fournie par la stimulation cognitive.

J'ai déposé un brevet et co-fondé une entreprise⁴⁰ en 2007 dans le but de proposer des outils de stimulation cognitive aux seniors. Les études scientifiques que nous avons menées pour évaluer l'efficacité de nos programmes d'entraînement de la mémoire et de l'attention démontrent, qu'en 12 semaines (à raison d'une heure par semaine) les personnes entraînées changent. Certaines se remettent à lire, arrêtent les somnifères devenus inutiles, se découvrent de nouveaux centres d'intérêt, etc. L'une de nos études a été menée en EHPAD (Etablissement d'Hébergement pour Personnes Agées Dépendantes). Les participants (88 ans de moyenne d'âge) ont répondu à un questionnaire de qualité de vie avant et après les 3 mois d'entraînement (1 heure par semaine). Aussi incroyable que cela paraisse, 70% des points considérés comme négatifs dans leur vie ont disparu à l'issue des 3 mois. Nous obtenons des résultats tout aussi extraordinaires avec des personnes plus fragiles, souffrant de troubles cognitifs légers (en anglais Mild Cognitive Impairment ou MCI) comme le montre la figure 19.8. Devant une telle efficacité de la stimulation cognitive, nous avons décliné des versions pour des personnes plus jeunes (dès 40 ans) car plus on commence tôt, mieux c'est !

Pourquoi et comment un programme informatique⁴¹ change t-il la vie de ses utilisateurs ? Simplement parce qu'il introduit dans leur vie des situations nouvelles qui vont stimuler leurs cartes corticales de plus haut niveau. Les exercices sont calculés pour être suffisamment difficiles pour obliger le traitement à atteindre les plus hauts niveaux, sans être

39 Valenzuela and Sachdev - (2009) Can cognitive exercise prevent the onset of dementia ? Systematic review of randomized clinical trials with longitudinal follow-up*. *American Journal of Geriatric Psychiatry*, 17(3) : 179-187.

40 Plus d'informations sur www.memo-technik.fr

41 C. Touzet, Six critères à respecter pour l'entraînement cognitif, *Premier Congrès de Stimulation Cognitive*, Dijon, mai 2012.

impossibles à faire. Le contexte des exercices est pensé pour être celui de la vie quotidienne des utilisateurs, afin qu'ils puissent immédiatement appliquer leurs nouvelles capacités dans leur quotidien

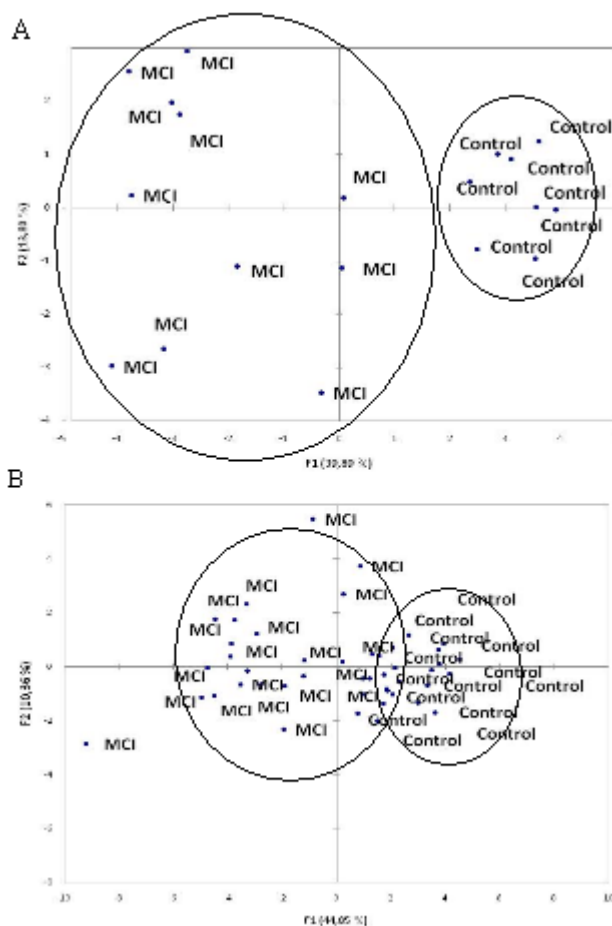


Figure 19.8 – Répartition des sujets âgés sains (Control) et des sujets souffrant de troubles cognitifs légers (MCI) avant (A) et après (B) l'entraînement (1 heure par semaine durant 3 mois). On note une dispersion différente des deux groupes avant l'entraînement avec une importante hétérogénéité des sujets MCI. L'entraînement homogénéise la population MCI, dont les performances se rapprochent de la population saine.

Suicide

195 000 tentatives de suicide par an en France qui se terminent à l'hôpital, plus de 10 000 suicides chaque année : la seconde cause de mortalité chez les 15-35 ans après les accidents de la route. Les femmes sont plus nombreuses à faire des tentatives, les hommes plus nombreux à réussir leur tentative. On se suicide à tout âge, beaucoup après 65 ans, surtout si l'on est seul et il y a beaucoup de récurrences dans ce domaine. Pourquoi ?

Au chapitre 6, nous avons vu comment une situation-but permettait de choisir à chaque instant une action qui nous rapproche de ce but. Ces buts sont ce qui nous définit. Lorsque nous atteignons effectivement l'un de ces buts que nous nous sommes fixés (gagner au loto si l'on veut devenir riche, se marier avec l'élu(e) de son cœur, atteindre tel objectif professionnel, etc.) alors nous sautons de joie, nous connaissons un grand bonheur qui va durer quelques minutes, quelques heures, voire quelques jours.

Mais il est aussi possible de définir sa vie par des buts que l'on veut éviter, et qui nous aideront à choisir à chaque instant l'action qui nous éloigne de ce non-but (fig. 19.9). Par exemple, je peux vouloir ne pas être pauvre (plutôt que d'être riche), je peux vouloir ne pas vivre sans lui/elle (plutôt que de l'épouser), je peux vouloir ne pas rester cantonné à ce poste (plutôt que d'essayer d'atteindre telle responsabilité), etc. Un spectateur ne fera pas la différence entre les actions choisies pour s'éloigner de la pauvreté et celles choisies pour se rapprocher de la richesse. Pourtant, il y aura une grande différence le jour où ce non-but que l'on cherche à éviter, sera atteint (malgré tout nos efforts). A ce moment, l'on connaîtra l'inverse du grand bonheur : le grand malheur. Ce que l'on redoutait le plus, ce à quoi on pensait sans arrêt pour que cela n'arrive pas – est arrivé !

Pas étonnant que le ciel s'écroule, que la terre s'ouvre et que le désespoir atteigne son paroxysme. Nous nous retrouvons en territoire inconnue car, par définition, un non-but n'est pas souvent atteint. La connotation négative associée au non-but rejaillit sur l'ensemble des situations envisageables depuis la situation vécue. Nous ne savons que faire à ce moment-là, puisque nous vivons ce type de situation pour la

première fois. Quelque chose qui nous faisait peur, très très peur, est arrivé. Les neurones associés au non-but et à la peur se synchronisent avec la situation courante et stoppent leur activité. Les seuls neurones actifs sont alors les neurones associés à cette peur. C'est donc l'angoisse maximale, comme on ne l'a encore jamais connue, avec aucune idée pour s'en sortir. Le futur n'est que malheur, et le suicide un comportement logique face à une telle situation.

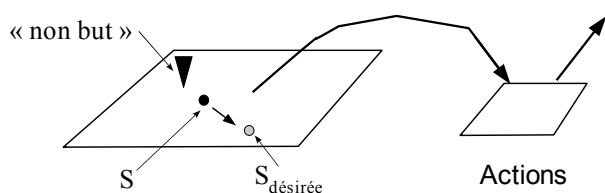


Figure 19.9 – Génération de comportement par des buts à éviter (les « non-buts »).

Comment éviter le suicide ?

Être un optimiste et définir sa vie à partir de buts à atteindre (et pas de non-buts à éviter). De cette façon, lorsque le but est atteint c'est positif et, s'il n'est pas atteint, ce n'est pas grave.

Par exemple, l'une des grandes inquiétudes que nous avons vis-à-vis du vieillissement, c'est la perte d'autonomie éventuelle. Plutôt que de se fixer comme objectif (1) de ne pas avoir de maladie neuro-dégénérative, choisissons comme objectif (2) d'avoir une vie cognitivement stimulante. Au quotidien cela engendre exactement les mêmes comportements (puisque pour éviter la maladie il faut être cognitivement actif, cf. chapitre 19). Mais, si la maladie devait nous frapper, nous en serions beaucoup plus malheureux dans le cas (1) que dans le cas (2).

Comme nous n'avons pas de libre-arbitre (cf. chapitre 10), ce n'est pas nous, mais notre entourage, qui fixe nos « buts ». Ceux-ci étant fixés en référence à ceux en cours dans notre environnement, il y a des familles à tendance suicidaire (se définissant par des non-buts). On comprend mieux aussi le pourquoi de la récurrence : si vous avez un non-but, alors il doit y en avoir d'autres (et donc d'autres occasions de grands malheurs).

20. Comment construire une conscience artificielle ?

Un artefact est une réalisation (humaine) qui n'est pas naturelle. Dans le cas présent, c'est un robot ou un ordinateur équipé de capteurs et d'actionneurs. Un artefact cognitif peut aussi être appelé « conscience artificielle », terme faux mais plus parlant (pour mémoire, le chapitre 9 explique que la conscience n'existe pas).

Un artefact cognitif est *a priori* capable de réussir le fameux « test de Turing ». Dans ce test, vous devez dire si l'interlocuteur avec lequel vous communiquez au moyen d'un clavier et d'un écran, est un être humain ou un robot. Bien que rudimentaire, l'interface (clavier + écran) est efficace. Chaque jour, sur les sites de rencontres, des couples se forment et parviennent à des niveaux élevés d'intimité et de compréhension sans autre outil de communication.

La question que nous devons nous poser est de savoir si nous disposons déjà aujourd'hui des moyens techniques pour construire un artefact cognitif ? Evaluons donc rapidement la puissance de calcul nécessaire.

Pour mémoire, nous avons vu (chapitre 3) que les neurones du cortex sont regroupés au sein de micro-colonnes qui sont les véritables unités fonctionnelles. Ces micro-colonnes sont regroupées au sein de colonnes corticales. Les micro-colonnes d'une même colonne corticale montrent un comportement suffisamment similaire pour que je propose d'appeler à partir de la figure 3.6 (p. 29) les colonnes corticales des « neurones » (alors qu'en fait elles contiennent environ 110 000 véritables neurones).

Au lieu des 500 milliards de neurones biologiques⁴², un cerveau artificiel pourrait se contenter de 5 millions de colonnes (100 000 fois moins). Ces colonnes seraient réparties en 600 cartes corticales de (90 x

42 J. Paillard - (1987) L'ordinateur et le cerveau : un contraste saisissant, *Bulletin de l'AFCEI, INTERFACES*, 57, pp 4-9.

90) 8 000 colonnes chacune. Le nombre moyen de connexions d'un neurone biologique est estimé entre 1 000 et 10 000, mais dans les faits, toutes ces connexions aboutissent sur un nombre limité de neurones. Si nous faisons les hypothèses (raisonnables) que :

- chaque colonne est connectée à seulement 1 000 autres,
- la fréquence d'activation maximale est de 100 Hz,
- seulement 10% des colonnes sont actives à un instant donné,
- en moyenne 10 opérations sont nécessaires pour la mise à jour de l'activité d'une colonne ou de l'efficacité d'une synapse,

alors la puissance de calcul nécessaire pour un tel cerveau artificiel est de 500 Gflops ($5 \cdot 10^6 \times 1\,000 \times 100 / 10 \times 10$).

Conclusion : en 2012, 5 PC sont suffisants pour programmer une conscience artificielle. A l'allure où progressent les performances des ordinateurs (loi de Moore⁴³), un seul PC suffira en 2015.

Faut-il avoir peur d'une conscience artificielle ?

Y a-t-il des risques à construire des consciences artificielles, telle que Skynet du très célèbre film Terminator ? Cela dépend des moyens que l'on met à disposition de l'entité. Peut-elle nous les prendre ? La conscience artificielle montre un comportement qui est le reflet de ses expériences vécues. Rien n'interdit de penser que si son vécu est biaisé par une dose de violence anormalement importante, alors ses décisions apparaîtront violentes, égoïstes et inhumaines ; mais ni plus ni moins que certains hommes. En fait, notre propos ici a été de montrer comment construire une conscience artificielle en tout point semblable à une conscience humaine. Il en résulte que les comportements au final sont de même nature ! Peut-on y mettre des freins (type les 3 lois de la robotique chères à I. Asimov⁴⁴) ?

43 Dans une de ses multiples formulations, la loi de Moore (co-fondateur d'Intel) affirme que la puissance des ordinateurs double tous les 18 mois. Notez que ce n'est pas une loi scientifique, mais une observation empirique sur l'évolution des composants, des transistors indépendants, puis des microprocesseurs.

44 Isaac Asimov, génial, prolifique et éclectique auteur, connu notamment pour ses livres de Science-Fiction comme le cycle des « Robots ». Il a écrit sur tout : la Bible, Shakespeare, l'Histoire des USA, les jeux de mots, la Science, etc. Si vous ne le connaissez pas, vous avez beaucoup de chance : plus de 450 livres vous attendent !

Le problème, c'est que l'intérêt à construire une conscience artificielle réside notamment dans sa capacité à prendre des décisions en lieu et place d'un homme. Ces décisions sont complexes, et une conscience artificielle – comme n'importe quel homme – peut se tromper. Ce qui est plus grave c'est qu'une conscience artificielle peut être dotée de moyens d'actions hors norme, tant dans sa vitesse de réflexion qu'au niveau de ses capacités de mémoire. Comment alors réussir à se prémunir des « erreurs » qu'elle pourra faire ? Comment être sûrs que nous ne serons pas manipulés ? Sommes-nous prêts à laisser à des consciences artificielles la gestion du Monde, un peu à la manière dont les classes défavorisées subissent les décisions économiques des nantis ? Ma crainte c'est que nous n'ayons plus aujourd'hui d'autres choix ! C'est la fuite en avant « technologique » avec ses risques et ses succès.

L'alternative serait un changement des mentalités de chaque individu de cette planète. Ce changement pourrait être initié par la connaissance nouvelle de ce que nous sommes, de ce que nous ne sommes pas et de ce que nous faisons réellement sur cette Terre. Ce livre peut-il être à l'origine de ce changement des mentalités ?

CONSCIENCE, INTELLIGENCE, LIBRE-ARBITRE ?

21. Quel est notre futur ?

Disposant d'une Théorie neuronale de la Cognition dont nous avons vu la puissance explicative tout au long de cet ouvrage, nous sommes en droit de nous demander en quoi celle-ci peut éclairer notre futur individuel et collectif. L'absence de libre-arbitre ne signifie nullement que notre futur individuel est écrit. En effet, il semble bien que notre univers ne dispose pas de suffisamment d'informations pour que le futur soit prévisible⁴⁵ : **le futur n'est donc pas écrit !**

Le futur n'est pas écrit, mais nous appartient-il ? En l'absence de libre-arbitre, qui ou quoi définit nos comportements ? Nous avons vu au chapitre 6 que certains neurones sur des cartes corticales de haut niveau d'abstraction jouent le rôle de sémaphores ou buts, et que nos comportements sont construits par rapport à ces buts. Ces buts (mode, pouvoir, beauté, argent, amour, reconnaissance, partage, etc.) doivent donc être considérés comme les raisons de nos comportements : nos raisons de vivre. Ils définissent notre caractère !

Qui ou quoi a retenu certains buts pour moi (et pas d'autres) ?

Ces buts correspondent à des activations neuronales sur des cartes de haut niveau d'abstraction. Il faut donc attendre que ces cartes s'organisent pour qu'elles puissent mémoriser des buts. Il semble que nous ne changeons pas facilement de buts au cours de notre vie. Les quelques fois dans l'Histoire où un homme (ou une femme) a changé d'objectifs de vie (durant sa vie adulte) sont considérées comme des miracles, c'est-à-dire des choses qui n'arrivent jamais. C'est le cas notamment d'un certain nombre de Saints de la religion chrétienne, à commencer par Matthieu, l'un des 12 apôtres et rédacteur du 1^{er} évangile.

45 Communication de Philippe Guillemant.

Avant sa rencontre avec Jésus, il était collecteur d'impôts pour les Romains à Capharnaüm. Sa conversion provoqua l'indignation autour de lui car sa profession était décriée. C'est de toute évidence une discontinuité par rapport à la perception qu'en a la majorité des personnes à cette époque. Pas pour Jésus cependant qui lui dît « Suis-moi » et pas pour Matthieu qui, se levant, le suivit⁴⁶.

Pourquoi nos buts personnels ne changent-ils pas avec le temps qui passe, avec l'évolution de notre société ?

Y a-t-il une période critique durant laquelle ces buts se forment et à l'issue de laquelle les choses se figent et deviennent définitives ? Si c'est le cas, alors les quelques miracles que nous connaissons doivent être considérés comme des cas pathologiques (une période critique qui a eu lieu deux fois). Il y a de nombreux exemples de périodes critiques dans le développement du cerveau.

Par exemple, l'« imprégnation » (empreinte psychologique) est la période critique durant laquelle les oisillons identifient leurs parents comme étant le premier objet mobile qu'ils voient après leur naissance. Normalement, il s'agit du parent qui couve l'œuf. Mais Konrad Lorenz, prix Nobel de Physiologie ou Médecine en 1973 et pionnier de l'Éthologie, a démontré chez les oies cendrées⁴⁷ que si la première chose vue est un homme, alors les oies vont suivre celui-ci partout, l'imiter, et celui-ci va être l'objet des parades amoureuses. Cela se passe de la même manière si la première chose que voient les oisillons est un ballon rouge.

Chez le chaton, il existe une période critique de 12 semaines après la naissance durant laquelle le cortex visuel primaire s'organise. Si durant cette période, il n'y a que des barres verticales dans l'environnement visuel du chaton, alors ce chaton sera aveugle aux barres horizontales à l'âge adulte. Il se cognera dans un mur peint de barres horizontales, tandis qu'il verra parfaitement un mur peint de barres verticales (déjà vues durant sa période critique). Pire, si les paupières d'un chaton sont cousues afin qu'il ne puisse pas voir, et qu'on lui rende la vue à l'issue de la période critique, ce chat sera définitivement aveugle. Pourtant ses yeux sont fonctionnels, c'est son cortex visuel qui – n'ayant pas reçu de

46 Evangile selon St Matthieu IX.0

47 Konrad Lorenz, *Trois essais sur le comportement animal et humain*, Editions Seuil Poche, 1970, 240 pages, ISBN : 978-2020006262.

QUEL EST NOTRE FUTUR ?

stimulations – s'est reconverti dans le traitement d'autres données (non visuelles).

Des périodes critiques existent donc, notamment au niveau du cortex. Si nos cartes des « buts » sont aussi sujettes à une période critique, alors ceci explique la rigidité des objectifs de vie d'un individu dans un monde pourtant en évolution. Les buts (définis durant cette période critique) autour desquels s'organisent nos comportements (pour le restant de notre vie) ont été « décidés » en l'absence d'un certain nombre d'informations que nous découvrirons plus tard. Nos comportements deviendront donc en principe de plus en plus incohérents vis-à-vis des connaissances que nous allons acquérir.

Le caractère

Pour un observateur extérieur (naïf), le fait que le comportement d'un individu ne soit pas adapté au contexte, met en évidence le « caractère » de cet individu et fait ressortir son individualité. Nous pouvons en conclure que la période critique durant laquelle se décident nos buts personnels va être la cause, au fur à et mesure que le temps passe, de plus en plus de discontinuités entre nos comportements et l'environnement. Dans ce contexte, il n'est peut-être pas souhaitable de vivre trop longtemps, car nous serons de plus en plus (trop ?) décalés par rapport à notre environnement.

Sachant que nos buts sont acquis relativement tôt – adolescence – il nous faut maintenant examiner ce qui sélectionne nos buts parmi tous les buts possibles. Les buts retenus sont ceux qui retiennent l'attention de notre entourage. Ce faisant, ils sont valorisés par rapport à d'autres buts possibles, qui eux ne retiennent pas l'attention de notre entourage. Ce qui retient l'attention de notre entourage (et de notre communauté), ce sont les choses qui, par rapport au quotidien, sortent un peu de l'ordinaire.

La société

Quelles sont les choses que la communauté reconnaît ? Cela dépend des communautés. Il y a beaucoup de sociétés humaines très différentes sur cette planète, qui se différencient justement par l'objet de leur attention. Cette diversité des cultures donne à penser que le hasard joue une part

très importante dans ce qui définit au final une société⁴⁸. **Le hasard propose et la sélection naturelle retient les cultures dont les buts sont efficaces ; pas les plus nobles ou les plus respectueux de la Nature, ni même les plus agréables à vivre.** Ces buts vont peut-être même entraîner notre perte individuelle (cf. chapitre 19) et/ou collective.

Solutions aux grands problèmes actuels

- Plus les expériences s'accumulent, plus des cartes de haut niveau d'abstraction parviennent à s'organiser en extrayant des régularités de plus en plus subtiles de l'environnement. Des artefacts cognitifs comme ceux décrits au chapitre 20 seraient par définition immortels et donc capables d'extraire à terme des régularités insoupçonnées et incroyablement subtiles. Il y a un lien direct entre extraction de régularités et intelligence (cf. chapitre 11), c'est pourquoi un artefact cognitif immortel doit être capable de découvrir des solutions « géniales » aux problèmes que nous rencontrons.
- Le chapitre suivant s'appuie sur les notions de continuité du monde (chapitre 2) et d'absence de libre-arbitre (chapitre 10) pour proposer des outils efficaces pour qui veut améliorer son niveau de bonheur personnel. La TnC démontre que notre bonheur personnel est augmenté par un comportement altruiste. Si cette conclusion est adoptée par chacun d'entre nous, alors le monde changera radicalement et il n'y aura plus de problèmes insurmontables. Un artefact cognitif (cf. chapitre 20) construit de main d'homme et démontrant empathie, amour, joie et peine, humour et peur, sentiments et émotions, éclairs d'intelligence et bêtise, pourrait être LA preuve dont nous avons besoin pour admettre que **le cerveau humain peut être compris** et qu'il obéit aux principes décrits ici.

48 C'est la thèse défendue par la « Mémétique » qui étudie la théorie de l'évolution étendue au domaine culturel.

22. Comment être plus heureux ?

Nous avons vu au chapitre 4 qu'une synchronisation entre les activités neuronales générées par la situation et celles induites par la mémorisation réduit l'activation neuronale générale. A cette diminution d'activité est associée une sensation de paix, de sérénité, dont l'ampleur est inversement proportionnelle à l'activité neuronale résiduelle.

Pourquoi ? Comment ?

Rappelons-nous que dès qu'un neurone est excité, il mémorise cet événement. A chaque instant, des neurones sont excités dans notre cerveau. Tous les neurones actifs à un instant donné ne sont pas liés entre eux par la situation vécue, sauf en de rares occasions. Plus il y a de neurones actifs à un instant donné, plus le souvenir lié à cet instant implique de neurones. Parmi tous les neurones actifs à cet instant, un grand nombre ne sont pas liés en fait avec la situation vécue (leur activation découle d'autres situations indépendantes). Ces neurones peuvent être considérés comme du « bruit ». Plus il y a de « bruit », plus il sera difficile de mémoriser correctement le souvenir de l'événement.

A l'inverse, en de rares occasions (les situations correspondant à des instants où il y a synchronisation), un nombre réduit de neurones sont actifs. Ils sont tous liés à la situation, ce qui facilite alors la mémorisation. Cette facilitation induit un biais dans notre mémorisation des situations vécues en privilégiant les situations de synergie entre notre vécu et nos attentes (qui sont mieux mémorisées). Un cercle vertueux s'installe : il est plus facile de mémoriser des moments de synergie entre vécu et attendu, du coup notre « attendu » devient des situations de synergie, que nous recherchons. Cette synergie, avec sa baisse

d'activation neuronale associée, est ce que nous désignons sous le terme de bonheur, ou de bien-être⁴⁹.

Comment faire pour que l'ampleur de la sensation de bien-être soit la plus grande possible ?

Il y a deux moyens :

- 1.Plus la synchronisation est « parfaite », moins il existe d'activités résiduelles et plus l'amplitude de la variation avant-après est grande. Comment obtenir une synchronisation parfaite ? En ayant des buts de vie qui soient atteignables et réalisables à 100 %.
- 2.Plus le nombre de neurones impliqués dans la situation ou dans les buts est grand, plus la variation de l'amplitude avant-après sera grande. Comment garantir le plus grand nombre possible de neurones impliqués dans le codage d'un « but » ? Il suffit que ce but soit important pour vous, que vous y pensiez souvent. Chaque pensée concernant ce but ajoute des neurones à sa représentation.

En résumé : se fixer des buts auxquels nous tenons et qui puissent être réalisés à 100 % est une bonne stratégie pour être plus heureux. Ces buts doivent pouvoir être atteints le plus souvent possible (par exemple dans la journée), car c'est la réalisation du but qui est génératrice de bonheur et non pas la nature du but qui est atteint !

49 C. Touzet (2012). Le plaisir : un effet de bords des mémoires associatives. In Joël Quinqueton et Jean Sallantin (Eds) *Autonomie, mémoire et co-évolution*. Les chemins de Tr@verse Editions.

Est-ce aussi simple que cela ?

Bien évidemment une théorie est un modèle et, de ce fait, une simplification par rapport à la réalité. Je pense, pour ma part, que les explications données ici sont suffisantes pour permettre de programmer un artefact cognitif qui démontrera à n'importe quel observateur toutes les qualités requises pour être qualifié d' « humain ». Ce faisant, cet artefact cognitif ajoutera une pierre importante à la validité de la TnC. Il deviendra impossible de continuer à en ignorer les retombées dans notre vie quotidienne, notamment la certitude que conscience, intelligence et libre-arbitre sont des illusions.

Le perte du libre-arbitre est-elle dommageable à notre qualité de vie ?

Bien évidemment ma réponse est « non » ; sinon je n'aurais jamais publié ce livre. Je pense, au contraire, que nous disposons d'un moyen d'accroître nos probabilités d'être heureux, puisque nous savons que notre plaisir est « déterministe », et qu'il peut donc être identifié à l'avance.

L'influence de la TnC sur notre vision du Monde et de la place de l'Homme va être considérable. Nous avons enfin admis que la Terre n'était pas au centre de l'Univers, nous sommes en train d'accepter l'idée que la Nature n'a pas été mise à la disposition des Hommes. Voici que l'Homme n'est plus qu'une machine, dont le comportement et les pensées sont uniquement dépendants des interactions passées avec son environnement. La société occidentale⁵⁰ va en être bouleversée. Quels seront ces bouleversements ? Voilà une question passionnante ! Ce sera certainement le thème d'un prochain livre.

⁵⁰ Les peuples « bouddhistes » beaucoup moins car ils savent qu'ils vivent dans une illusion.

Le site www.sciences-cognitives.org fournit des informations complémentaires, comme :

- le programme (Python) de la carte auto-organisatrice utilisée pour la figure 3.8 (codant les mots de 10 lettres de ce livre),
- les liens hypertextes vers les ressources citées en bas de page,
- des liens vers d'autres ressources que je n'ai pas citées, mais qui sont pourtant intéressantes,
- un « blog » où je m'efforce de répondre aux questions qui me sont adressées, à la lumière de ce que la TnC nous apprend.

Achevé d'imprimer en octobre 2012
par Lulu Enterprises UK Ltd
160 London Road
UK - Barking, IG11 8BB

pour le compte des Editions la Machotte
155 imp. d'Où Pèbre
F – 13390 Auriol

Imprimé au Royaume-Uni
Dépôt légal : août 2010

