



4

L'APPRENTISSAGE

Étudiant dans une nouvelle ville, vous vous sentez complètement perdu. Puis au fil des jours, vous vous souvenez de tel magasin ou telle place, qu'il faut tourner à gauche après l'arrêt de bus..., et bientôt, après quelques semaines, vous arrivez à la fac sans avoir fait attention au trajet, tout en téléphonant. Votre corps a fait le chemin tout seul, comme un cheval qui rentre à l'écurie. En effet nos capacités d'apprentissage sont extraordinaires. Mais les apprentissages sont très variés et correspondent à des « couches » du système nerveux, héritées d'animaux plus ou moins évolués. Ainsi des parties de notre cerveau apprennent à soulager notre vie végétative en déclenchant les réactions végétatives pour des stimulus nouveaux : c'est le conditionnement, qui fait qu'un chien salive en entendant une clochette. Dans la plupart des cas, comme les sportifs l'ont bien compris, l'apprentissage nécessite beaucoup d'entraînement, car il en résulte de connexions entre neurones. Il existe cependant une exception de taille : c'est la phobie, l'apprentissage de la peur, qui peut s'apprendre en une seule fois. Freud pensait à son époque (à la fin du XIX^e siècle) que le petit Hans avait peur des gros chevaux foncés parce qu'ils lui évoquaient son père dont il était jaloux (complexe d'Œdipe). Mais l'interprétation moderne met en avant que l'enfant avait été terrorisé par la chute d'un lourd chariot tiré par deux gros chevaux noirs. Enfin, par rapport à la plupart des animaux, l'homme et les singes anthropoïdes ont des capacités d'apprentissage évoluées, par observation et apprentissage de symboles, c'est le commencement de la culture.

Définitions



Qu'est-ce que l'apprentissage ?

1. Apprentissage et mémoire

Les concepts d'apprentissage et de mémoire se réfèrent à la même réalité psychologique mais sont liés à des modes. De l'Antiquité aux débuts de la psychologie expérimentale, le terme « mémoire » domine. C'est le behaviorisme qui (en excluant les termes évoquant des phénomènes mentaux) impose le terme d'apprentissage. À l'inverse, les biologistes, qui n'ont pas subi l'influence du behaviorisme, ont continué à parler de « mémoire biologique ».

De nos jours, les deux termes sont employés de façon presque synonyme : « apprentissage » est plutôt employé pour désigner la modification systématique du comportement en fonction de l'entraînement tandis que le terme de « mémoire » désigne plutôt l'ensemble des structures qui permettent ces modifications.

L'apprentissage comprend une très grande variété de types ou niveaux d'apprentissage, liés en grande partie à la complexité du système nerveux, en particulier du cerveau. Ces niveaux sont représentés ci-dessous sous la forme d'une pyramide (Figure 4.1), qui évoque l'idée que les organismes complexes possèdent les formes inférieures d'apprentissage :

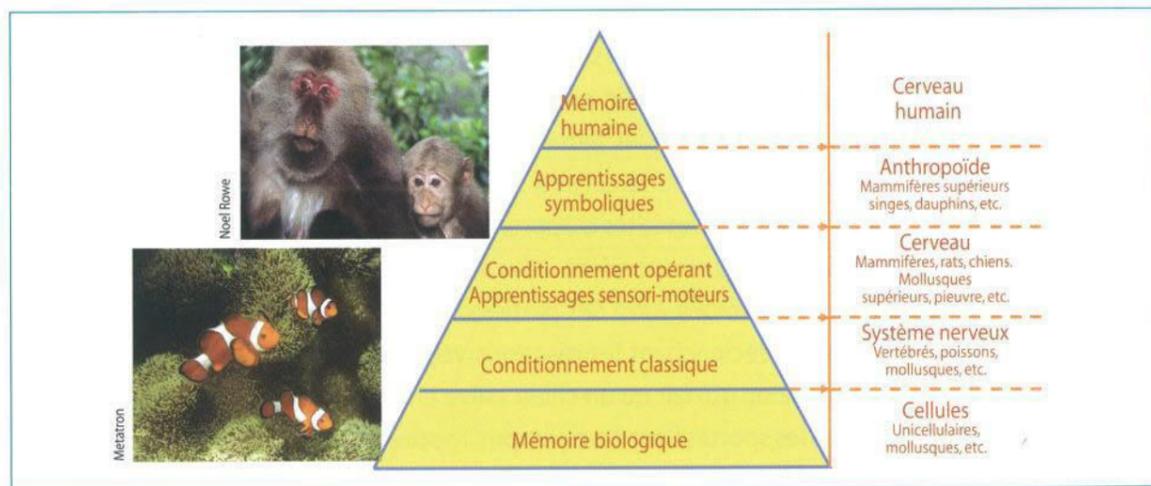


Figure 4.1 – Pyramide des principales formes d'apprentissage en fonction de la complexité biologique.

2. Mémoire biologique

Avant d'aborder les principaux niveaux d'apprentissage, et plus tard la mémoire (chap. 5) l'accoutumance (ou habitude, ou mémoire biologique) est certainement la forme la plus primitive d'apprentissage (Medioni et Robert, 1969) puisqu'elle existe chez des animaux unicellulaires.

EXEMPLE

Si l'on fait bouger le milieu liquide d'une paramécie (animal composé d'une seule cellule, visible sous microscope), la membrane de celle-ci ondule, mais avec la répétition de la stimulation, cette réaction diminuera progressivement. Comme il n'y a pas de cellules nerveuses, puisque l'animal n'a qu'une seule cellule, ce type d'apprentissage primitif montre qu'il est de nature biochimique.

La paramécie est un bon exemple d'animal unicellulaire (ou protozoaire), elle n'a qu'une cellule, et donc évidemment pas de cellules nerveuses. C'est un « tout en un »... Beaucoup de « microbes » sont des unicellulaires et certaines de nos cellules, globules blancs, le sont aussi.



De même les réactions immunitaires de l'organisme (vaccin) montrent que certaines cellules « reconnaissent » les agents pathogènes (par exemple, virus d'une grippe) grâce à la reconnaissance de certaines caractéristiques chimiques.

Mais les formes d'apprentissage plus élaborées ne sont possibles qu'avec l'apparition de cellules dont la fonction est la transmission d'information, les neurones. Chez certains animaux primitifs, les neurones s'assemblent par milliers pour faire des ganglions qui vont gérer des fonctions spécifiques (mouvements, respiration...) mais chez les animaux plus complexes (par exemple, vertébrés : des poissons aux mammifères), les neurones s'assemblent par millions pour faire un véritable « ordinateur » central, c'est le cerveau. Ainsi, le cerveau humain contient cent milliards de neurones mais le cervelet (siège des apprentissages automatisés) contient lui aussi cent milliards de neurones.

I. LE CONDITIONNEMENT CLASSIQUE OU PAVLOVIEN

Vers la fin du XIX^e siècle, le physiologiste russe Yvan Pavlov utilisait des chiens dans son laboratoire pour ses études sur la digestion. C'est ainsi qu'il découvrit le phénomène du conditionnement, pour lequel il reçut le prix Nobel.

1. Acquisition du conditionnement

Dispositif expérimental

Au cours de ses expériences sur les conditions de la sécrétion salivaire, le chien subit une légère intervention chirurgicale de façon à ce que le canal d'une glande salivaire soit relié à une fistule (petite éprouvette) pour mesurer la quantité de salive en nombre de gouttes ou fractions de centimètre cube (ou millilitre). Les résultats sont simples : seuls deux sortes d'excitants (= stimulus depuis les behavioristes) déclenchent naturelle-

Apprentissage : modification durable du comportement en fonction de l'exercice (entraînement, etc.).

Mémoire biologique : même de simples cellules sont capables d'apprentissage (mais primitif), comme de diminuer une réaction avec la répétition de la stimulation (= accoutumance ou habitude).



Qu'est-ce que le conditionnement ?

ment la salivation : un petit morceau de viande dans la gueule (au contact avec la langue) ou une solution acidulée (un peu d'acide ; par exemple les bonbons acidulés font saliver).

Attention : une erreur courante des étudiants est d'écrire dans leur copie « la vue de la viande », ce qui est faux ; un jeune chiot ne salive pas à la vue de la viande ; c'est seulement le contact chimique de la viande avec les papilles gustatives de la langue qui est l'excitant naturel (instinctif).

Conditionnement pavlovien ou classique : apprentissage primitif dans lequel un stimulus neutre se connecte à un stimulus qui déclenche naturellement une réaction.

SN (stimulus neutre) : par exemple un son (qui ne produit pas naturellement la salivation).

SI (stimulus inconditionnel) : sans condition (inné), le SI provoque une réaction réflexe, par exemple la salivation (appelé RI, réaction ou réponse inconditionnelle).

SC (stimulus conditionnel) : grâce à la répétition du couplage avec le SI, le stimulus neutre provoque seul la réaction conditionnelle (par exemple salivation).

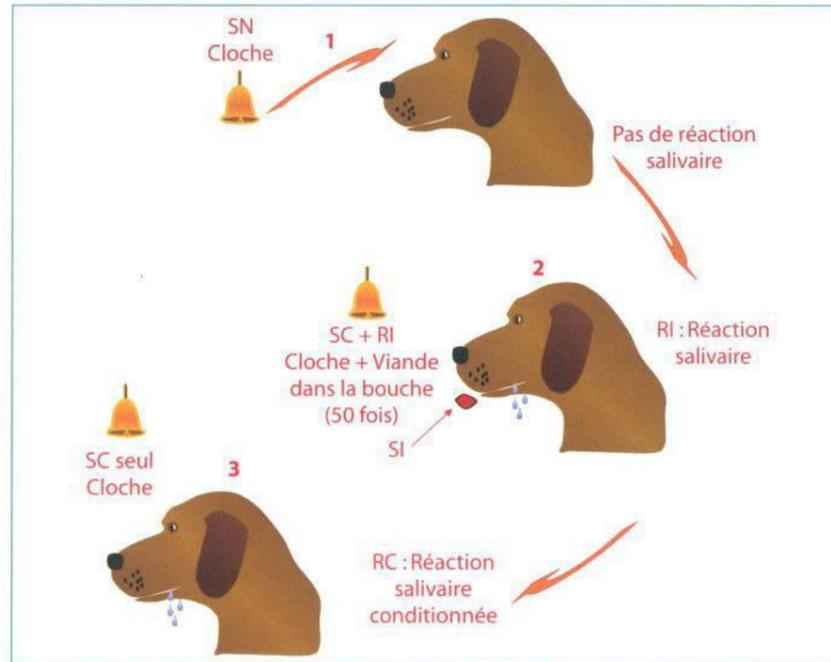


Figure 4.2 – La procédure du conditionnement salivaire chez le chien. (1) Le chien ne salive pas naturellement pour le son de la cloche ; c'est un stimulus neutre (SN). Mais (2) si l'on couple la cloche avec un stimulus inconditionnel (SI) comme la viande dans la gueule, au bout de dizaines d'essais, la salivation se produira (3) que pour le son seul ; le son de la cloche est devenu un stimulus conditionné (SC).

Mais Pavlov avait remarqué que des stimulations diverses avaient aussi une action : vue de la viande ou de la personne qui apporte à manger, d'où son idée d'un « conditionnement » de nouveaux stimulus. C'est ce qu'il a démontré par des expériences célèbres, en mettant notamment en évidence deux paramètres fondamentaux, la répétition et la contiguïté temporelle.

La répétition

Le conditionnement classique ou pavlovien est basé sur l'existence d'un arc réflexe : stimulus naturel (viande dans la gueule) (réaction salivatoire) ; comme ce stimulus est actif sans condition préalable, les behavioristes l'ont appelé stimulus inconditionnel (SI), Pavlov parlait d'excitant naturel. La réponse (ou le réflexe) est symétriquement appelée réponse inconditionnelle. Pavlov parlait de réflexe absolu.

La procédure du conditionnement (Figure 4.2) consiste à présenter le stimulus neutre (SN), par exemple le son d'un métronome, et de le faire suivre très rapidement par le stimulus inconditionnel (viande dans la bouche) :

- ce couplage constitue un essai. Une technique pratique est d'effectuer des blocs de dix essais et de présenter le stimulus neutre seul une fois à l'intérieur de chaque bloc pour observer son effet sur la salivation (Figure 4.3). Au bout de nombreux essais (= répétition), la salivation va se déclencher seulement pour le son du métronome ;
- le son du métronome est devenu un stimulus conditionné (= SC, ou conditionnel). Tout se passe comme si, avec la répétition, le SC s'était « branché » sur l'arc réflexe.

Attention, le conditionnement est un apprentissage primitif, il requiert (par rapport à la mémoire) des dizaines ou des centaines d'essais. Par exemple, le nombre de gouttes de salive chez le chien va être pratiquement au maximum au bout de trente essais (Figure 4.4). Le conditionnement d'autres réflexes peut nécessiter une centaine d'essais ou plus.

La contiguïté temporelle

À côté de la répétition, le temps est fondamental dans le conditionnement. La procédure la plus efficace correspond au couplage (= en même temps) du SC (stimulus conditionnel) et du SI (stimulus inconditionnel). De meilleurs résultats sont obtenus avec une avance du SC, l'optimum d'avance est de une demi-seconde.

En revanche, dès qu'un intervalle est instauré entre le SC et le SI, le conditionnement est plus difficile, c'est le conditionnement avec délai (ou de trace, si le SI intervient après la disparition du SC).

Dans tous les cas, le SC doit précéder le SI ; l'inverse, appelé conditionnement rétrograde, n'est pas efficace : si l'on donne la nourriture avant le son, le son ne déclenche pas la salivation. Ce dernier critère amena Pavlov à penser que le stimulus conditionnel est efficace parce qu'il joue le rôle d'un signal (biologique) annonçant le stimulus inconditionnel.

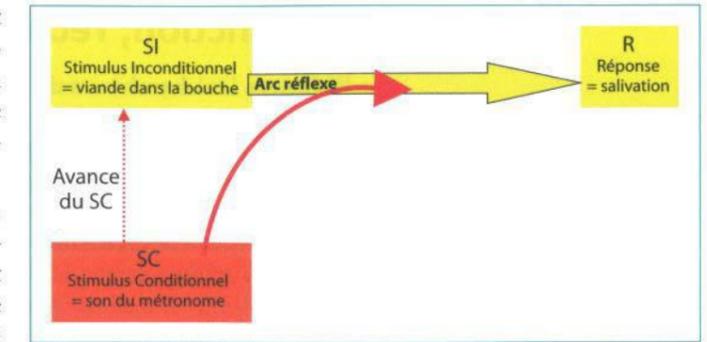


Figure 4.3 – Le conditionnement classique correspond à la connexion d'un nouveau stimulus (SC) sur un arc réflexe existant.

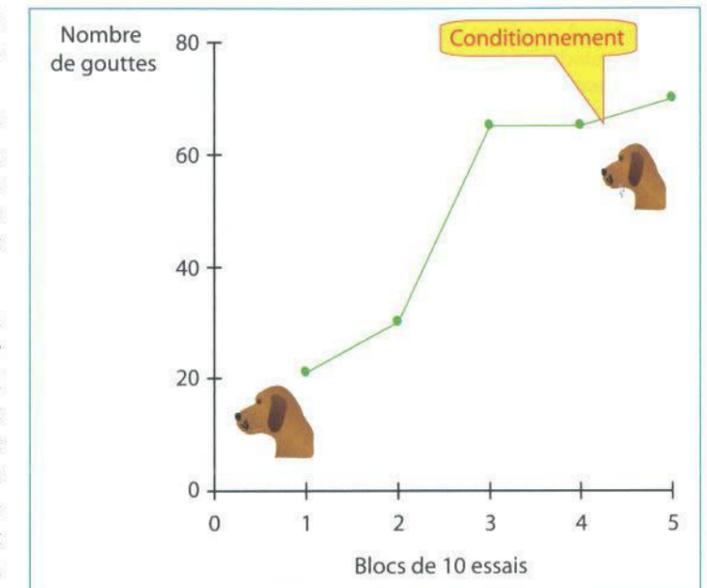


Figure 4.4 – Conditionnement salivaire chez le chien. Le conditionnement est un apprentissage primitif qui nécessite des dizaines d'essais.

2. Extinction, récupération et inhibition

Pavlov et les chercheurs de son équipe ont démontré de façon claire la différence entre un SI et un SC : le SI provoque toujours le réflexe ou la réponse tandis que si l'on présente le SC seul au cours de plusieurs essais successifs, on observe que sa valeur conditionnelle va progressivement diminuer : c'est le processus d'extinction. Voici, comme illustration, une expérience de Tolotchinov du laboratoire de Pavlov (Pavlov, 1963) (tabl. 4.1).

Tableau 4.1
Expérience d'extinction (d'après Pavlov, 1963).

Essai	Heure	SC (1 mn)	Quantité de salive (cm ³)
1	11 h 34	Vue de la viande	0,7
2	11 h 37	"	0,4
3	11 h 40	"	0,2
4	11 h 43	"	0,05
5	11 h 46	"	0

L'extinction se produit pour n'importe quel stimulus conditionnel, son du métronome, lumière d'une lampe, y compris la vue de la viande comme dans le tableau 4.1 ; d'ailleurs des chiots qui ne sont nourris qu'au lait ne salivent pas à la vue de la viande.

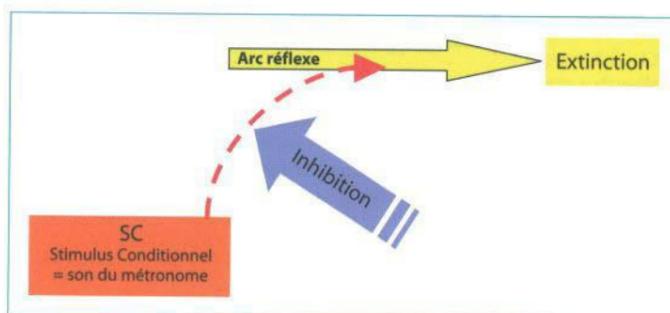


Figure 4.5 – Dans l'extinction, la réponse conditionnelle est bloquée par un processus dynamique d'inhibition.

Extinction : annulation de l'action du stimulus conditionnel (SC) lorsqu'il n'est plus suivi du stimulus inconditionnel (SI).

Récupération spontanée : un simple repos et le SC éteint vont à nouveau déclencher la réponse conditionnée.

Inhibition : mécanisme de blocage actif.

La récupération spontanée : l'extinction n'est pas l'effacement du conditionnement car après un temps de repos le stimulus conditionnel est à nouveau efficace, c'est le phénomène de récupération spontanée. L'extinction n'est pas non plus un processus lié à la fatigue ou à l'absence de salive car si on perturbe l'animal (par exemple par un son très aigu), il y a également récupération spontanée.

Le concept d'inhibition : ces constatations très méthodiques ont amené Pavlov à faire une hypothèse cruciale dans son œuvre et dans la suite de la psy-

chologie, l'hypothèse que l'extinction est provoquée par un processus nerveux dynamique et antagoniste de l'excitation, le processus d'inhibition qui bloque la réponse (Figure 4.4). La récupération spontanée intervient donc quand l'inhibition s'estompe avec le temps.

Sur le plan biologique, il existe de nombreux mécanismes inhibiteurs, il existe ainsi des neurones inhibiteurs et au niveau des contacts entre neurones, il existe des neurotransmetteurs inhibiteurs (cf. p. 149).

3. Généralisation

Lorsqu'un stimulus a été conditionné, des stimulus qui lui ressemblent déclenchent la réponse, c'est le processus de généralisation, que Pavlov attribue à une diffusion de l'excitation.

Gradient de généralisation : la généralisation est d'autant plus efficace que le nouveau stimulus ressemble au stimulus d'origine (conditionné), ce qui se traduit sur un graphique par une parabole (courbe en U renversé) dont le maximum correspond au stimulus original ; cette courbe est appelée « gradient de généralisation ». Par exemple si un son de 2 500 hertz est conditionné, la salivation va se produire également pour des sons voisins (par exemple 2 000 Hz ou 3 000 Hz). Mais plus le son est ressemblant et plus la réaction salivaire conditionnelle va être importante (Figure 4.6).

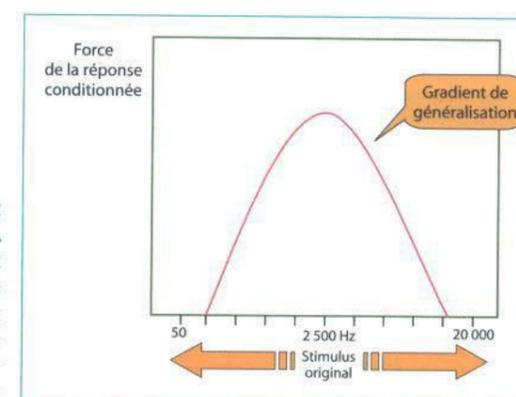


Figure 4.6 – Gradient de généralisation. Plus le stimulus est ressemblant avec le stimulus originalement conditionné et plus la réaction est forte (simplifié d'après Kupalov 1955 ; cit. Le Ny, 1964.)

Généralisation : un stimulus semblable au stimulus conditionnel (par exemple, un son plus aigu) peut déclencher la réaction conditionnée.

Gradient : plus la similitude est grande et plus intense est la réaction. Ainsi la force de la réaction varie comme une courbe en forme de U renversé (parabole en maths), c'est le gradient de généralisation.

Attention : ne pas confondre le gradient de généralisation avec la courbe de Gauss (cf. chap. « L'intelligence ») ; le gradient de généralisation est une parabole (elle atteint zéro pour des stimulus détectés comme différents).

Phobie : peur très intense, incontrôlable.

APPLICATION

« Chat échaudé craint l'eau froide »

Les phobies (cf. 3) sont souvent liées à la généralisation d'un conditionnement. Par exemple, après un accident de voiture, un bruit ressemblant à un choc de voiture va entraîner des réactions viscérales (stress) de généralisation. Il suffit d'entendre le bruit de la roulette pour avoir peur du dentiste ou même d'entrer dans la salle d'attente. Bruit de la roulette, vue de la seringue, décor de la salle d'attente, sont autant de stimulus conditionnés. Le proverbe l'exprime avec pertinence : « Chat échaudé craint l'eau froide. »

4. Pourquoi s'intéresser au conditionnement ?

Pourquoi donc passer autant de temps dans les études de psychologie sur le conditionnement salivaire chez le chien et c'est d'ailleurs classiquement dans les programmes au niveau international (cf. les manuels américains) ? C'est que Pavlov, avec le cas particulier du réflexe salivaire, étudiait le mode d'apprentissage d'une partie de notre système nerveux qui commande, non seulement la salivation, mais les sécrétions gastriques, intestinales, l'accélération cardiaque, l'augmentation de la tension artérielle, de

la température, qui dépend du système nerveux autonome... (cf. § III, p. 126, les phobies).

La suite des travaux de Pavlov l'a bien montré. Dans la célèbre expérience du « repas fictif » de Pavlov et Choumova-Simanovskaïa, un chien est opéré de façon à ce que le tube de l'œsophage ressorte à l'extérieur et ne conduise plus à l'estomac ; par ailleurs, une fistule stomacale permet de mesurer la sécrétion gastrique. Sitôt les aliments absorbés par l'animal, une abondante sécrétion gastrique se produit alors que les aliments tombent à l'extérieur. Les stimulus associés à l'absorption de nourriture, sensations gustatives, tactiles, etc., sont devenus des stimulus conditionnels de la sécrétion gastrique.

Enfin, ce qui double l'intérêt du conditionnement pavlovien, c'est que les émotions, pleurs, jambes flageolantes, rougissement, etc., de la peur, du coup de foudre ou de la colère, sont en fait produites par ce système nerveux autonome. Le conditionnement est donc le mode d'apprentissage des émotions (cf. chap. 10, les émotions).

L'effet Placebo

Le célèbre cinéaste Henri Verneuil (*Peur sur la ville* avec Jean-Paul Belmondo...) racontait l'anecdote suivante. Voyageant beaucoup entre la France et les États-Unis à une époque de sa vie, et souffrant d'un manque de sommeil dû au décalage horaire, il prenait le soir un cachet de somnifère. Un soir, dans son hôtel, Verneuil raconte qu'il se déshabille, dépose son cachet sur la table de nuit et se couche. Ne parvenant pas à dormir, il prend en tâtonnant le cachet sur la table de nuit et s'endort immédiatement. Le matin, il se lève, fait sa toilette mais en s'habillant, s'aperçoit qu'il lui manque un bouton de chemise. Pris d'un doute, il regarde sur la table de nuit... le cachet était toujours là !

L'effet placebo, bien connu des médecins et des pharmacologues (et intuitivement des charlatans), est l'apparence du médicament (ou du médecin) qui soigne. Certaines expériences montrent même un effet de la couleur. L'expérimentation en pharmacologie nécessite d'ailleurs toujours pour cette raison un ou plusieurs groupes placebo comme groupe contrôle. Cependant si l'effet placebo est un conditionnement pour partie, d'autres mécanismes d'apprentissage, influence sociale (télévision), effet d'attente, « autorité » de la personne, etc., peuvent intervenir.

II. LE CONDITIONNEMENT OPÉRANT OU SKINNÉRIEN

1. Les travaux précurseurs : l'apprentissage par essais et par erreurs

À la même époque que Pavlov, fin XIX^e et début XX^e siècle, naissait aux États-Unis l'étude de l'apprentissage animal, dont voici trois grands apports.

Thorndike (1898) et l'apprentissage par essais et par erreurs

Thorndike étudiait ce qu'on appelait alors « l'intelligence animale » chez le chat en le plaçant dans une boîte à problème, cage dont la porte pouvait s'ouvrir par un système de loquets.

Thorndike observa que contrairement aux idées courantes qui attribuent aux animaux une réflexion, le chat n'apprenait à sortir qu'au prix de longs tâtonnements, c'est la notion d'apprentissage par essais et par erreurs et également à condition qu'il y ait une récompense (nourriture, pouvoir sortir) : c'est la loi de l'effet.

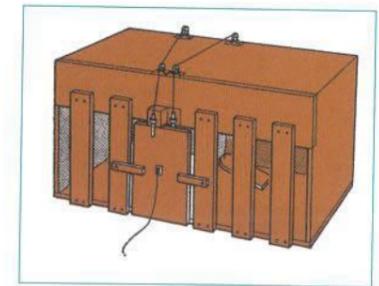
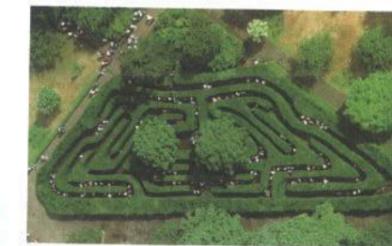


Figure 4.7 – Boîte à problème utilisée par Thorndike (d'après Thorndike, 1898).

Willard Small (1900) et l'apprentissage du labyrinthe

Comme il n'est pas facile de manipuler des chats en laboratoire, Willard Small eut le premier l'idée d'étudier l'apprentissage du rat dans un labyrinthe ; ce premier labyrinthe, en bois et treillage de fils de fer (1901) était une adaptation du labyrinthe fait de bosquets taillés, dans les jardins d'Hampton Court, dont il avait copié le tracé dans l'*Encyclopedia Britannica*. Le « père » de l'apprentissage du labyrinthe anticipera de nombreuses recherches en déclarant que le rat est probablement incapable d'une capacité mentale suffisante pour faire « la relation entre les moyens perçus et la fin » (1900, p. 164).



Labyrinthe des jardins d'Hampton Court qui servit de modèle à Small (1901).

Apprentissage par essais et par erreurs : Thorndike a montré que l'animal résolvait des problèmes non par intuition mais par de nombreux essais et erreurs.

Loi de l'effet : l'animal n'apprend que si les réponses qu'il apprend sont suivies d'un effet positif (récompense, nourriture, sortir d'un enclos...)

John Watson (1907) et le rôle des réponses motrices

Watson montre que des rats privés de sensations extéroceptives (visuelles, auditives, tactiles) étaient capables d'apprendre un parcours dans un labyrinthe : il privilégie donc le rôle des sensations kinesthésiques (= sensations résultant du mouvement des muscles) et des réponses motrices qui les provoquent (par exemple tourner à gauche). Dans l'ensemble, cette tradition américaine va conduire à une prééminence de l'action, c'est-à-dire des réponses, contrairement au conditionnement pavlovien d'associations entre stimulus. Les recherches sur l'apprentissage, notamment du labyrinthe, vont continuer, mais vont amener aussi à la mise au point d'une forme hautement standardisée de l'apprentissage, le conditionnement opérant de Skinner.

2. Le conditionnement opérant : standard de l'apprentissage

Cette tradition a conduit à élaborer différentes procédures, le plus souvent classées sous le terme générique de conditionnement opérant proposé par Skinner, depuis ses efforts de standardisation méthodologique et théorique.

La boîte de Skinner

L'idée de Skinner est de fabriquer un environnement standard permettant l'étude des lois générales de l'apprentissage et aussi automatisé que possible de façon à éliminer les manipulations humaines (trop variables ou stressantes pour l'animal) et étudier plusieurs animaux en même temps pour réaliser différentes conditions (par exemple essais de différentes doses de médicaments).

L'automatisation est réalisée grâce à des dispositifs électroniques de distribution de nourriture (mangeoire dans laquelle tombe une ration ; pipette délivrant une goutte d'eau), de présentation de stimulus (sons, lumières ou figures) et de mesure de l'activité (appui sur une barre, cellules photo-électriques coupées par les déplacements de l'animal, etc.).

Ce dispositif, appelé boîte de Skinner, est donc une sorte de distributeur automatique à l'échelle de l'animal : souvent le rat ou le pigeon, animaux de petite taille, faciles à élever et à manipuler dans les conditions de laboratoire (Figure 4.8).

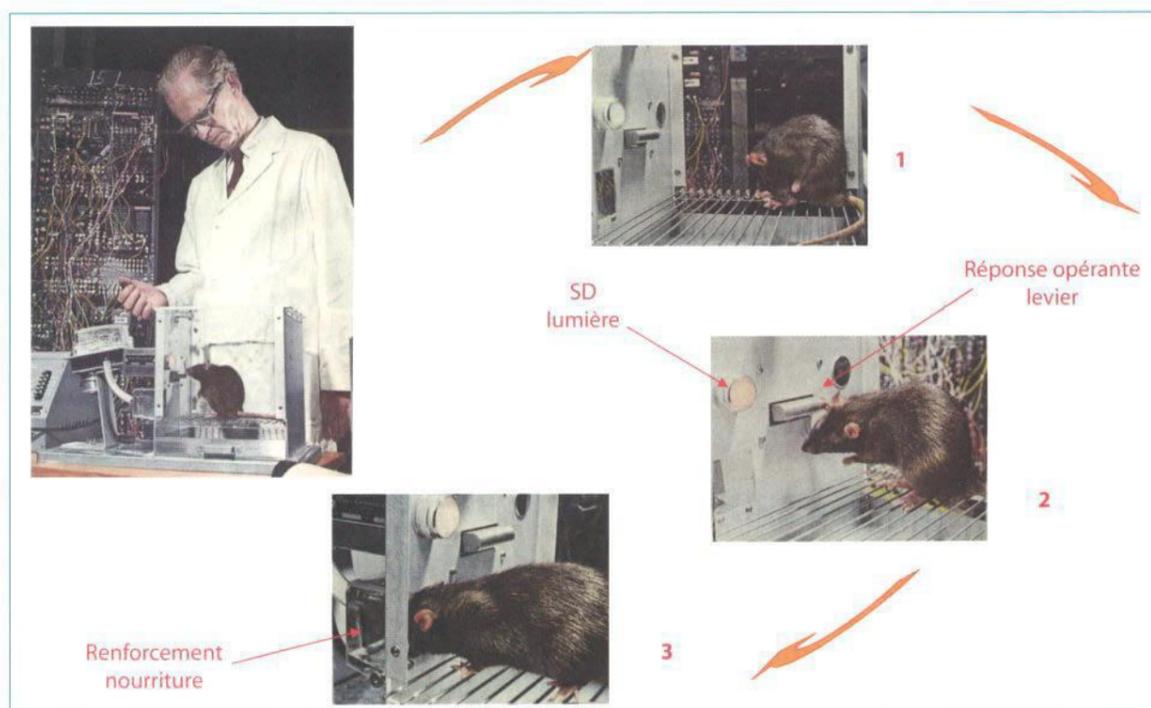


Figure 4.8 – Skinner et le conditionnement opérant.

(1) Le rat commence par explorer puis par hasard appuie sur le levier lorsque la lumière s'allume (SD) ; (2) la nourriture (renforcement) tombe dans la mangeoire ; (3) avec la répétition, le rat appuie plus fréquemment et regarde dans la mangeoire même s'il n'y a pas de nourriture lorsque la lumière s'allume ; la lumière (SD) a été conditionnée (Sd = stimulus discriminatif ; RO = réponse opérante) (source : N. Tinbergen, *Le Comportement animal*, Life-Le Monde vivant, 1965).

Les expériences antérieures ayant montré que l'animal doit être motivé, le rat affamé va explorer, flairer, tâtonner et parmi d'autres réponses (= répertoire comportemental), il arrivera qu'il appuie sur la barre (= réponse opérante), déclenchant ainsi une récompense alimentaire, que Skinner dénomme d'une façon générale un renforcement (Figure 4.9).

Ce succès ne sera pas suivi immédiatement d'un autre appui comme on pourrait l'imaginer par anthropomorphisme. Imaginez qu'un matin un distributeur de la cafétéria délivre gratuitement des cafés, il ne faudrait pas longtemps pour que tous les étudiants de la fac soient là. Chez le rat tout au contraire, il faut de nombreux essais et renforcements : il n'y a pas compréhension, seulement apprentissage.

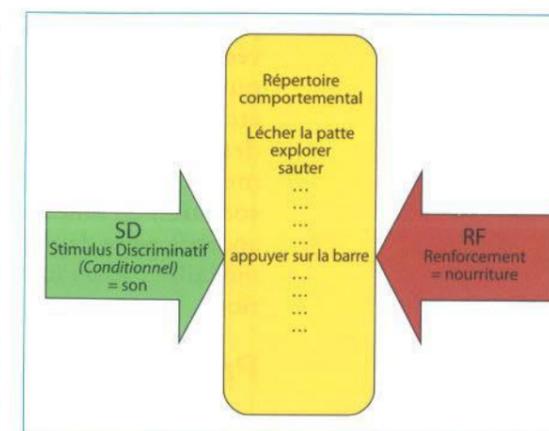


Figure 4.9 – Schéma du mécanisme du conditionnement opérant

Le conditionnement opérant discriminatif

Le conditionnement opérant n'est aussi simple que dans la phase préliminaire de familiarisation de l'animal, phase qualifiée de modelage (*shaping*). L'intérêt principal du dispositif est d'étudier des apprentissages plus complexes en particulier les capacités de discrimination perceptive. Le pigeon est un animal qui s'y prête bien, du fait d'une très bonne perception et mémoire visuelle :

- la boîte de Skinner pour le pigeon est munie d'un tableau, à hauteur de ses yeux, constitué de plusieurs fenêtres en plexiglas dans lesquelles peuvent apparaître différentes figures (cercle, carré, triangle, barres horizontales et verticales, ou couleurs) ;
- l'appui sur le stimulus discriminatif (SD = figure choisie par l'expérimentateur) déclenche un renforcement, constitué par la chute d'une graine dans une mangeoire placée à portée de bec.

Conditionnement opérant ou skinnérien : inventé par Skinner ce conditionnement associe un stimulus et une réponse.

Boîte de Skinner : sorte de distributeur automatique conçu par Skinner pour étudier de façon automatique l'apprentissage chez de petits animaux, rat, pigeon...

Renforcement : tout ce qui augmente la probabilité de la réponse.

Renforcement primaire : renforcement qui agit naturellement (inné) : positif, c'est la récompense ; négatif, c'est la punition.

Renforcement secondaire : renforcement appris, par exemple, le claquement du fouet du dompteur, le bruit de la roulette du dentiste...

Application

Le dressage

Skinner est ainsi parvenu à faire discriminer, à des pigeons, des couleurs, des figures géométriques, des cartes à jouer et même à faire jouer un petit air de musique par des coups de bec sur les touches d'un piano miniature (il faut alors plusieurs mois d'apprentissage). Le conditionnement opérant correspond donc sur un plan plus analytique à ce que l'homme avait découvert empiriquement sous le nom de dressage.

Conduites superstitieuses et contiguïté temporelle

L'intervalle de temps entre la réponse et le renforcement doit être très court, l'optimum étant d'une demi-seconde, pour être efficace. Dans les

premiers essais, l'animal peut produire des réponses qui se sont trouvées renforcées par hasard ; par exemple, le rat lèche sa patte en s'appuyant sur la barre, le pigeon lève les ailes en donnant un coup de bec, etc. Skinner les appelle des conduites superstitieuses. L'observation des conduites superstitieuses indique clairement que le conditionnement opérant n'est pas basé sur des mécanismes de réflexion mais d'association en fonction de la contiguïté temporelle. Certains joueurs ou sportifs ne se déplacent pas sans leur objet « porte-bonheur », maillot, médaille... Ainsi naissent peut-être un certain nombre de nos superstitions.

Propriétés du conditionnement opérant

Il existe de nombreux points communs entre le conditionnement opérant et le conditionnement classique (ce qui s'explique par des mécanismes identiques au niveau cérébral) :

- contiguïté temporelle (une demi-seconde) ;
- avance du signal (SC ou stimulus discriminatif) ;
- renforcement (SI dans le conditionnement classique) ;
- extinction ;
- généralisation.

3. Le concept de renforcement

Selon la définition de Skinner, le renforcement est ce qui accroît la probabilité d'émission (ou de diminution) d'une réponse ; on peut distinguer plusieurs catégories de renforcements :

- renforcements primaires : les renforcements primaires sont des stimulus inconditionnels qui correspondent aux besoins biologiques ou à des réflexes. On distingue les renforcements positifs et négatifs : les positifs sont les stimulus des comportements appétitifs, nourriture, sommeil, etc., ce sont les récompenses ; les renforcements négatifs, choc électrique, bruit, etc., sont les stimulus des comportements aversifs, ce sont les punitions ;

L'homme est-il insensible aux renforcements ? L'exemple de la circulation routière

L'homme, *Homo sapiens* (c'est-à-dire « homme sage »), croit volontiers qu'il est supérieur à ses cousins les animaux par sa sagesse. L'exemple de la circulation routière montre, parmi d'autres, que sans les renforcements négatifs de la civilisation, l'homme serait un fauve.

Alors que l'augmentation du trafic routier après les années 1960 avait entraîné de huit mille morts en 1960 à dix-huit mille en 1972, la loi instaurant les limitations de vitesse (par exemple, 90 km/h) et le port de la ceinture de sécurité ont fait chuter le taux de mortalité à celui de 1960 dans les années 1995. L'instauration, très médiatisée, des amendes par radars automatiques a refait chuter le nombre de morts à moins de cinq mille.

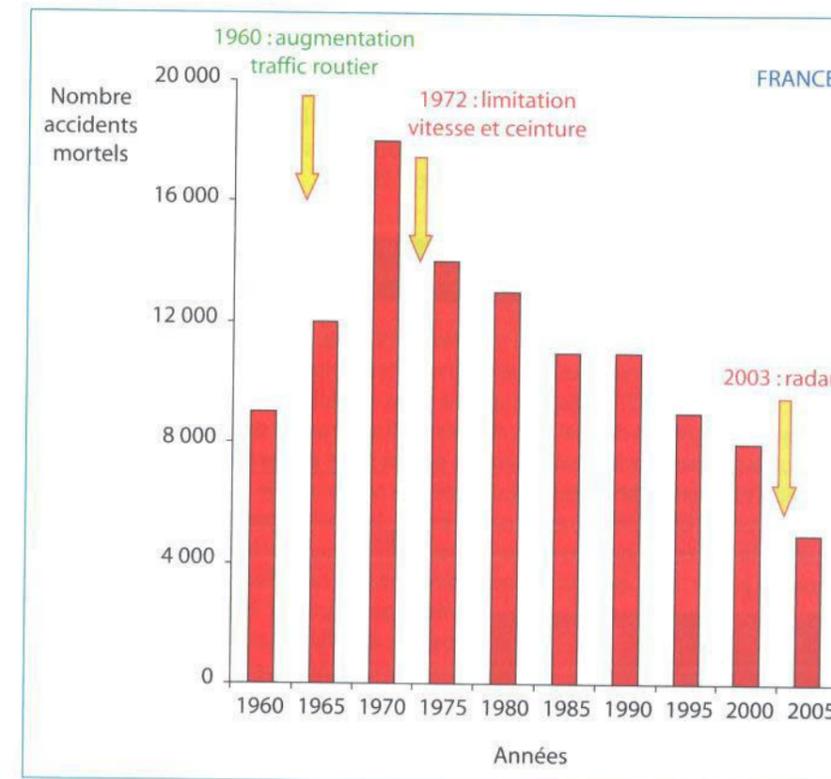


Figure 4.10 – Impact de la loi sur la limitation de vitesse, le port de la ceinture de sécurité et de la pose de radar (simplifié d'après Got, Delhomme et Lassarre, 2007).

- renforcements secondaires : les renforcements secondaires sont les stimulus dont l'efficacité est due à un apprentissage, le plus souvent par un conditionnement classique ; le sifflet ou la voix du dresseur, le claquement du fouet du dompteur ; la vache dans le champ a appris à éviter la clôture électrique dont la vue seule (SD) provoque l'évitement ; seuls quelques chocs (SI) ont suffi. Notre vie motivationnelle et émotive est essentiellement enrichie par les renforcements secondaires, de l'assiette dans laquelle nous mangeons à la blouse blanche du dentiste... C'est à cause des renforcements secondaires que Skinner a proposé le concept de « renforcement » ; en effet pour les renforcements primaires (innés), on peut parler de récompense et punition, mais le sifflet du dresseur n'est pas vraiment une récompense, pas plus que le son du fouet n'est une punition. Il est préférable d'utiliser le terme général de renforcement plutôt que ceux plus restrictifs (mais exacts) de récompense et punition ;

- renforcements affectifs, cognitifs et sociaux : chez les animaux supérieurs, dauphins, chimpanzés et l'homme, il existe des renforcements qui ne sont pas appétitifs ou aversifs mais qui semblent néanmoins primaires ; le singe a besoin de contact social (Harlow, 1959) et de curiosité : l'ouverture de la fenêtre d'une cage donnant sur un spectacle (petit train, etc.) agit comme un renforcement (Butler, 1954) ;

- conditionnement par stimulation intracérébrale : depuis la première démonstration du déclenchement de mouvements par sti-

mulation électrique du cerveau (Fritsch et Hitzig, 1870, cf. Doty, 1961) des recherches indiquent une possibilité de conditionnement en couplant une stimulation intra-cérébrale (analogue à l'électricité naturelle du cerveau : de 0,2 à 1 mA, millième d'ampère) dans le cortex sensoriel et une stimulation dans le cortex moteur (qui déclenche un mouvement cf. Doty, 1961).

Comment connaît-on ce que perçoivent les animaux ?

Le grand éthologiste Karl von Frisch (prix Nobel 1973), qui découvrit le « langage » des abeilles, utilisa la technique du conditionnement discriminatif pour l'étude des couleurs chez l'abeille (1927). Il dispose sur une table, non loin de la ruche, un papier bleu avec quelques gouttes de miel ; des abeilles (qu'il a marquées de petits points de couleur sur le thorax, pour les reconnaître) se posent sur le papier bleu, vont et viennent plusieurs fois. Dans la phase test, Frisch enlève le papier avec le miel pour disposer un nouveau papier bleu (propre) et un papier rouge : les abeilles continuent à se poser sur le papier bleu. Il reste une phase contrôle pour vérifier que c'est bien la qualité chromatique du papier bleu qui a été conditionnée et non sa brillance ; pour cela Frisch



mélange le papier bleu parmi plusieurs papiers de différentes nuances de gris mais les abeilles continuent de se poser sur le papier bleu. La continuation de cette procédure pour les autres couleurs a permis de constater que l'abeille voyait à peu près les mêmes couleurs que l'homme avec un décalage, l'abeille ne voyant pas le rouge mais percevant les ultra-violets.

III. LES CONDITIONNEMENTS AVERSIFS

1. Le conditionnement aversif

Une des lois fondamentales du conditionnement est la répétition. Cependant, il existe une exception à cette loi lorsque le renforcement est négatif et fort ; par exemple un choc électrique à forte intensité. Les expériences montrent alors que le conditionnement est en général très rapide et qu'à l'inverse l'extinction peut être très difficile. Ces deux différences ont amené les chercheurs à distinguer deux catégories de conditionnement en fonction des renforcements, les conditionnements appétitifs (ou positifs) et les conditionnements aversifs (ou négatifs). Des recherches neurobiologiques ont d'ailleurs montré que ces deux types de conditionnements, appétitifs et aversifs, dépendent de centres cérébraux différents (cf. « émotions », chap. 10).

Aversif : qui crée une aversion (rejet) et par extension, tout ce qui est négatif (douloureux, rejet...).

Conditionnement aversif : les conditionnements aversifs sont généralement très vite appris (parfois un seul essai), ce qui a laissé penser qu'ils dépendaient de mécanismes différents des conditionnements positifs (ou appétitifs).

La rapidité de l'acquisition s'observe par exemple dans une expérience (Fowler et Trapold, 1962) : les rats doivent parcourir un couloir électrifié (les chocs sont de 120 à 400 volts) pour échapper aux chocs.

Phobie : peur intense, voire incontrôlable.

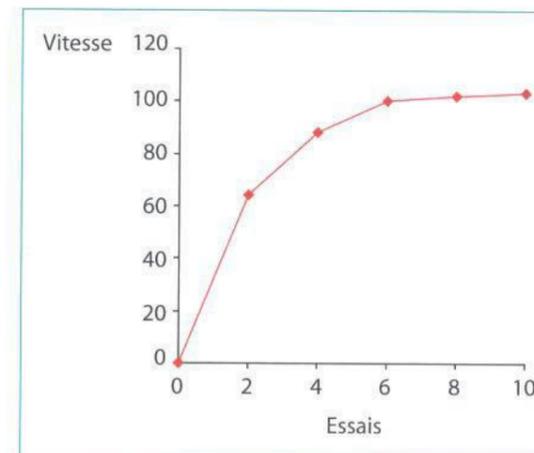


Figure 4.11 – Vitesse d'apprentissage d'un conditionnement aversif (simplifié d'après Fowler et Trapold, cit. Doré et Mercier, 1992).

Les résultats (Figure 4.11) montrent que la vitesse maximale est atteinte au bout de six essais ; l'apprentissage est donc très rapide par rapport au conditionnement appétitif (salivaire) qui nécessite plusieurs dizaines d'essais (Figure 4.4). L'expression « prendre ses jambes à son cou » prend ici tout son sens...

2. La peur conditionnée dans le conditionnement d'évitement

Qu'est-ce qu'une phobie ?

La peur se conditionne tout à fait comme la salivation. Plusieurs recherches ont bien montré que le conditionnement d'évitement « contient » une phase de conditionnement à la peur, ressort motivationnel à agir. Par exemple, dans une expérience de Soltysik et Kowalska (1960), les chiens (individuellement) doivent apprendre à fléchir une patte (conditionnement opérant) pour qu'un choc électrique (SC) léger s'arrête. Comme dans le conditionnement salivaire classique, c'est un son (vibreur) qui précède le choc électrique (SI). Les battements du cœur, réponse conditionnée de peur, augmentent très vite (Figure 4.12) après l'apparition du SC (vibreur). C'est là que la peur est au maximum, puis elle diminue (battements de cœur diminuant) dès que le chien fléchit la patte (Réponse opérante).

La peur conditionnée est souvent étudiée dans un dispositif appelé « navette » (Neal Miller, 1948), le rat doit sauter d'un compartiment à un autre dans une cage spéciale séparée en son milieu par une barrière (shuttle box : littéralement boîte à navette), pour

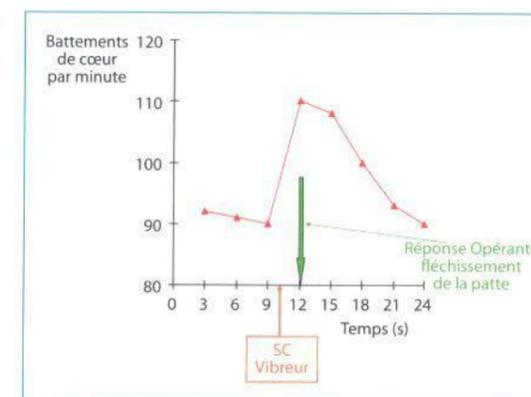


Figure 4.12 – Augmentation et diminution de la peur (battements du cœur) au cours du conditionnement d'évitement (simplifié d'après Soltysik et Kowalska, 1960 ; cit. Le Ny, 1964).

éviter un choc électrique provenant du plancher métallique ; le choc est signalé par un stimulus discriminatif, par exemple un son. Pour Miller, le son devient un stimulus conditionnel de peur par conditionnement classique avec le choc électrique (en général violent dans ce genre d'expérience).

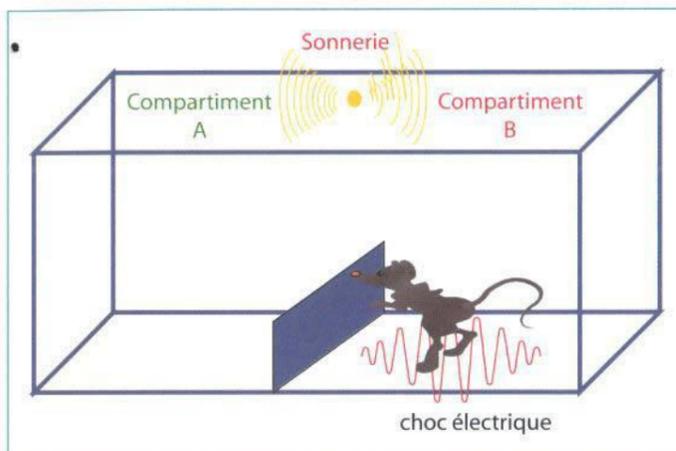


Figure 4.13 – Schéma de la navette : dispositif d'étude du stress.

Cette peur conditionnée est un état motivationnel qui pousse l'animal à agir pour éviter le choc ; la réponse du conditionnement opérant est de sauter dans l'autre compartiment ; au bout de quelques essais, le rat évite donc tous les chocs en sautant après chaque son. Ces recherches, beaucoup utilisées en pharmacologie pour tester les médicaments (par exemple anxiolytiques) donneront par ailleurs une explication du découragement et des phobies (cf. résignation, chap. 9).

3. Souvenirs traumatisants et phobies

Beaucoup de phobies peuvent s'expliquer par un conditionnement à une situation traumatisante, peur, grand bruit, accident, etc. Et l'on peut réinterpréter comme un conditionnement aversif la phobie du célèbre « Petit Hans » analysée de façon très différente par Freud. Voici des extraits de « Analyse d'une phobie chez un petit garçon de 5 ans » (« Le petit Hans » dans *Cinq psychanalyses* (voir encart, p. 129)).

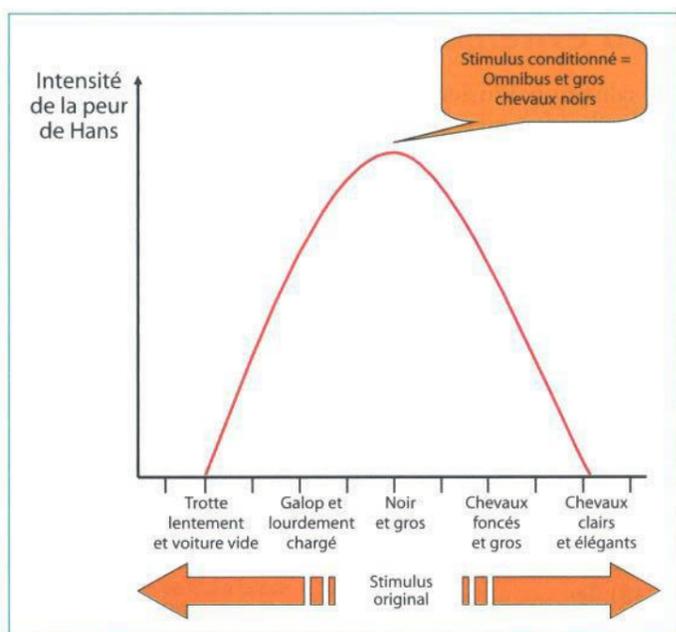


Figure 4.14 – La phobie des chevaux du petit Hans : généralisation reconstituée d'après « l'enquête » de Freud.

Plus vraisemblablement la phobie du petit Hans a été causée par la peur d'être écrasé ou frappé par les sabots, ou mordu par les chevaux lors de l'accident de l'omnibus, accident qui a dû être accompagné de bruits violents, de convulsions des chevaux, et de cris des employés. Imaginez qu'un bus ou un car se renversent à quelques pas de vous.

Tous les ingrédients de la peur conditionnée sont réunis, force du stimulus inconditionnel (« charivari » qui est un grand bruit), et généralisation. Freud, en tant que scientifique, nous donne (même si ce n'est pas son interprétation), tous les éléments (cf. encart) pour avoir une autre théorie. On apprend par son interview très systématique, à la manière de Sherlock Holmes, que le début de l'angoisse de Hans est lié à la chute d'un omnibus, que les chevaux étaient gros et noirs. Par la suite, Freud remarque que les voitures vides, ou les

chevaux clairs ou aux formes élégantes ne causent pas de pareille peur... Toutes ces indications nous permettent de reconstituer le phénomène de généralisation du conditionnement (Figure 4.14), que Freud ne connaissait pas à cette époque... Mais de là à construire un roman sur les complexes d'Œdipe et de castration, quelle imagination littéraire (cf. aussi Van Rillaer, 1981 ; Meyer, 2005) !

Extraits de « Analyse d'une phobie chez un petit garçon de 5 ans (« Le petit Hans ») » (1909) dans *Cinq Psychanalyses* de Freud

« L'histoire de la maladie et de la guérison d'un très jeune patient [...] n'émane pas, à proprement parler, de ma propre observation. J'ai, à la vérité, donné les grandes lignes du traitement et je suis même, une seule fois, intervenu personnellement au cours d'un entretien avec le petit garçon ; mais le traitement même a été appliqué par le père de l'enfant, à qui je dois une grande reconnaissance pour avoir mis à ma disposition ses notes en vue d'une publication » (p. 93). Le père mélange des observations avec ses interprétations : « Je rappellerai que sa peur des chevaux se relie à un épisode de Gmunden... le désir refoulé de me voir partir pour la gare afin de rester seul avec sa mère ("le cheval devrait s'en aller"), se transforme alors en anxiété de voir les chevaux prêts à partir et, de ce fait rien ne le met dans un pareil état d'angoisse que lorsque, de la cour de la Douane Centrale qui est en face de notre maison, une voiture s'ébranle pour partir et que les chevaux se mettent en mouvement [...] » (p. 123). « Le plan des lieux devant notre porte cochère est le suivant [il joint un schéma, p. 123] : en face se trouve l'entrepôt [...] avec une rampe de chargement, devant laquelle, toute la journée, des voitures passent afin de charger des caisses [...] J'ai observé déjà, depuis quelques jours, que Hans a particulièrement peur quand les voitures entrent dans la cour et en sortent, ce qui les oblige à prendre un tournant. Je lui ai demandé alors pourquoi il a si peur, sur quoi il a répondu : "J'ai peur que les chevaux ne tombent quand la voiture tourne" [...] De plus, il craint plus les grands chevaux de somme que les petits chevaux, les chevaux de ferme plus que les chevaux aux formes élégantes [...] » (p. 123) il a plus peur quand une voiture passe vite que lorsque les chevaux trottent doucement » (p. 124). Freud ajoute ici un dialogue avec l'enfant :

« Hans — Je crois, quand les chevaux de déménagement tirent une lourde voiture, qu'ils vont tomber.
Moi — Ainsi, tu n'as pas peur des petites voitures ?
Hans — Non, je n'ai pas peur d'une petite voiture ni d'une voiture de la poste. C'est aussi quand vient un omnibus que j'ai le plus peur.
Moi — Pourquoi ? Parce qu'il est si grand ?
Hans — Non, parce qu'un jour le cheval d'un omnibus est tombé...
Hans — Parce que le cheval a fait comme ça avec ses pieds (il se couche par terre et me montre comment le cheval donnait des coups de pied). J'ai eu peur, parce qu'il a fait du charivari avec ses pieds. »
[...]
Moi — Le cheval était-il mort quand il est tombé ?
Hans — Oui.
[...]
Moi — Quand le cheval de l'omnibus est tombé, de quelle couleur était-il ? Blanc, roux, brun, gris ?
Hans — Noir, les deux chevaux étaient noirs.
Moi — Était-il grand ou petit ?
Hans — Grand.

Moi — Gros ou maigre ?
Hans — Gros, très grand et gros. [p. 127]
[...]
Nous sortons alors devant la porte cochère. Comme une voiture de charbon approche, Hans dit : "Tu sais, j'ai aussi très peur des voitures de charbon."
Moi — Peut-être parce qu'elles sont également tout aussi grandes qu'un omnibus.
Hans — Oui, et parce qu'elles sont si chargées et que les chevaux ont tant à tirer et pourraient bien tomber. Quand une voiture est vide, je n'ai pas peur.
De fait — ainsi que nous l'avons déjà constaté — seules les grosses voitures chargées le mettent en état d'angoisse ». (p. 130)
[...]
Freud interprète ces faits de la manière suivante : « Il est vraiment un petit Œdipe, qui voudrait "mettre de côté son père", s'en débarrasser, afin d'être seul avec sa jolie maman, afin de coucher avec elle » (p. 172). « La peur résultant de ce désir de mort contre le père [...] fournit le plus grand obstacle à l'analyse [...] » (p. 172-173). « Le cheval devait être son père, dont il avait de bonnes raisons intérieures d'avoir peur. Certains détails comme le noir autour de la bouche et ce qui était devant les yeux des chevaux (la moustache et le binocle du père...) détails qui faisaient peur à Hans, me semblèrent directement transposables du père au cheval » (p. 181). « Sous la peur exprimée par Hans en premier lieu, celle d'être mordu par un cheval, on découvre une peur plus profonde que les chevaux ne tombent et tous deux, le cheval qui mord comme le cheval qui tombe, sont le père qui va punir Hans à cause des mauvais désirs qu'il nourrit contre lui... [p. 182] [...] Hans confirme encore, par tout ce qu'il dit [Freud évoque, d'après les notes du père, d'autres fantasmes, la girafe, le plombier] l'hypothèse d'après laquelle les voitures lourdement chargées représenteraient pour lui la grossesse de sa mère et la chute du cheval... l'accouchement » (p. 186). « Le deuxième fantasme, celui où Hans avoue le désir d'être marié avec sa mère et d'avoir d'elle beaucoup d'enfants, ne fait pas qu'épuiser le contenu des complexes inconscients de Hans réveillés à la vue du cheval tombant et ayant engendré l'angoisse... » (p. 186).

L'extinction dans les expériences de conditionnements aversifs, ici à la peur, est très long, parfois même impossible, car l'animal (et l'homme) ne veut pas « essayer ». D'où l'idée d'une thérapie comportementale de reconditionnement dans le cas des phobies, consistant à ce que le sujet soit confronté très doucement et progressivement au stimulus de sa peur. Par exemple, de plus en plus de cours appelés par ironie « aquaphobe » se développent avec des maîtres-nageurs pour habituer les gens, à se mettre dans 50 centimètres d'eau (petit bassin des petits), puis à regarder sous l'eau (tout en se tenant sur la rive), et ainsi très progressivement amener une « extinction » de la peur à la vue de l'eau.

4. Conditionnements classique et opérant

La comparaison du conditionnement opérant et du conditionnement classique a toujours suscité énormément de réflexions et de désaccords car il existe de nombreux points communs mais aussi des différences...

Points communs et différences

Les propriétés du conditionnement classique se retrouvent dans le conditionnement opérant : contiguïté temporelle, avance du signal (SC ou stimulus discriminatif), renforcement (SI ou stimulus d'ordre supérieur), extinction, généralisation et différenciation.

Les différences entre conditionnement classique et conditionnement opérant sont peu nombreuses et ne sont pas toujours spécifiques (Rescorla et Solomon, 1967).

- Conditionnement classique :
 - le stimulus neutre devient conditionnel en s'intégrant à une liaison innée stimulus inconditionnel → réponse inconditionnelle. Le SC s'ajoute en quelque sorte à un arc réflexe ;
 - le conditionnement classique intéresse plutôt les réflexes, les réponses glandulaires et viscérales (muscles lisses).
- Conditionnement opérant :
 - le conditionnement opérant est la sélection par le renforcement d'une réponse dans le répertoire comportemental ;
 - le conditionnement opérant porte spécialement sur la musculature striée des muscles « volontaires » contrôlés par le système nerveux central (cependant dans des conditions particulières, on peut conditionner de manière opérante la musculature lisse, c'est la base du biofeedback).

Les interactions

Mais les deux conditionnements n'apparaissent pas si séparés que cela et de nombreuses interactions existent.

- *Les renforcements secondaires* : dans le conditionnement opérant, les renforcements sont souvent des renforcements secondaires, c'est-à-dire des stimuli déjà conditionnés par conditionnement classique. Par exemple, dans son article « Comment apprendre aux animaux », Skinner (1951) conseille pour un chien, de commencer par associer le clic d'un criquet (le jouet) (les dresseurs emploient souvent un sifflet) à la nourriture, c'est un conditionnement classique.
- *Les réponses « viscérales » dans le conditionnement opérant* : dans une de ses expériences, Martin Shapiro (1962) de l'université de Houston, a eu l'idée d'associer la procédure du conditionnement classique de la salivation à celle d'un conditionnement opérant où l'animal doit apprendre à appuyer toutes les 2 minutes (pour permettre à la réponse salivaire de se manifester). Les chiens sont préparés chirurgicalement comme les chiens de Pavlov, avec l'implantation d'un petit tube en polyéthylène dans le canal de la glande parotide et chaque chien en situation d'expérience est placé dans un dispositif de Skinner adapté à la taille du chien, avec une barre et une mangeoire. Le chien doit apprendre à n'appuyer sur la barre qu'après un intervalle de temps depuis le précédent renforcement. On observe que la réponse salivaire démarre dans l'intervalle qui précède chaque appui, ce qui indique une interaction entre les deux formes de conditionnement. La salivation intervient parfois après l'appui sur le levier ; donc les réponses viscérales, ici la salivation, ne doivent pas être considérées comme la cause déclenchante de la réponse opérante (par exemple appui sur le levier) mais

les deux types de réponse peuvent être vus comme des indicateurs de processus cérébraux qui interviennent dans les deux conditionnements.

- *La peur conditionnée dans le conditionnement d'évitement* : le conditionnement d'évitement dans la navette (*supra* « le conditionnement aversif ») comprend à la fois une phase de conditionnement classique (association du son et du choc électrique produisant la peur) et une phase de conditionnement opérant ; le saut (réponse opérante) est suivi de la disparition de la douleur (renforcement).

- *Le conditionnement par stimulation intracérébrale* : depuis la première démonstration du déclenchement de mouvements par stimulation électrique du cerveau (Fritsch et Hitzig, 1870, cf. Doty, 1961) des recherches indiquent une possibilité de conditionnement en couplant une stimulation intra-cérébrale (analogue à l'électricité naturelle du cerveau : de 0,2 à 1 mA, millièrme d'ampère ; ce n'est donc pas un « choc » électrique) dans le cortex sensoriel et une stimulation dans le cortex moteur (qui déclenche un mouvement, Doty, 1961).

La théorie du processus central

Toutes ces interactions montrent que les deux conditionnements sont liés à des mécanismes communs dans le cerveau et ne diffèrent que par les

systèmes nerveux inférieurs et de réponse (musculature lisse ou striée...) ; c'est la théorie du processus central (Solomon et Rescorla, 1967).

Voilà qui explique à la fois les points communs et les différences, ainsi que les interactions. Les points communs sont liés aux processus d'association qui se font entre les stimulus (ou avec une réponse) : contiguïté, généralisation, etc. Des travaux récents montrent que ces associations pourraient se faire dans le cervelet, véritable « ordinateur » de l'apprentissage (cf. *supra* « cervelet » : ordinateur de l'apprentissage, p. 148). En revanche, le cerveau commande deux sortes de systèmes ; le système nerveux autonome qui gère le fonctionnement végétatif et le système nerveux central qui dirige la motricité volontaire.

- *Système nerveux autonome et émotions* : le système nerveux autonome commande le fonctionnement du cœur, des poumons, de l'estomac, des reins et de la vessie... Les commandes se font de deux façons, par le système nerveux autonome (parasymphatique notamment) et par voie hormonale (commandée par l'hypothalamus et l'hypophyse). Or ce système est aussi celui qui commande les émotions, les larmes, les jambes flageolantes de la peur, la montée d'adrénaline qui dilate les vaisseaux sanguins et le débit cardiaque dans la colère. Sans le savoir, Pavlov, en étudiant la salivation étudiait ce système. À travers la salivation, ce sont les lois du conditionnement de la vie végétative et des émotions que l'on étudie.

- *Système nerveux central et apprentissages moteurs* : le système nerveux central (cortex, corps striés, cervelet) commande de façon généralement volontaire les mouvements musculaires. Il y a donc choix parmi les réponses et variété. On peut apprendre à un tigre de sauter dans un cerceau en feu alors que ce n'était pas prévu par la nature. On peut, nous humains, conduire une voiture et écrire, alors que la finesse de la préhension des doigts n'avait été « mise au point » que pour cueillir des baies et des fruits. C'est ce système qui est la base du conditionnement opérant et des apprentissages sensori-moteurs. Comme ce système est exclusivement nerveux (et pas hormonal), il est très rapide puisque l'influx nerveux a une vitesse moyenne de 50 mètres par seconde.

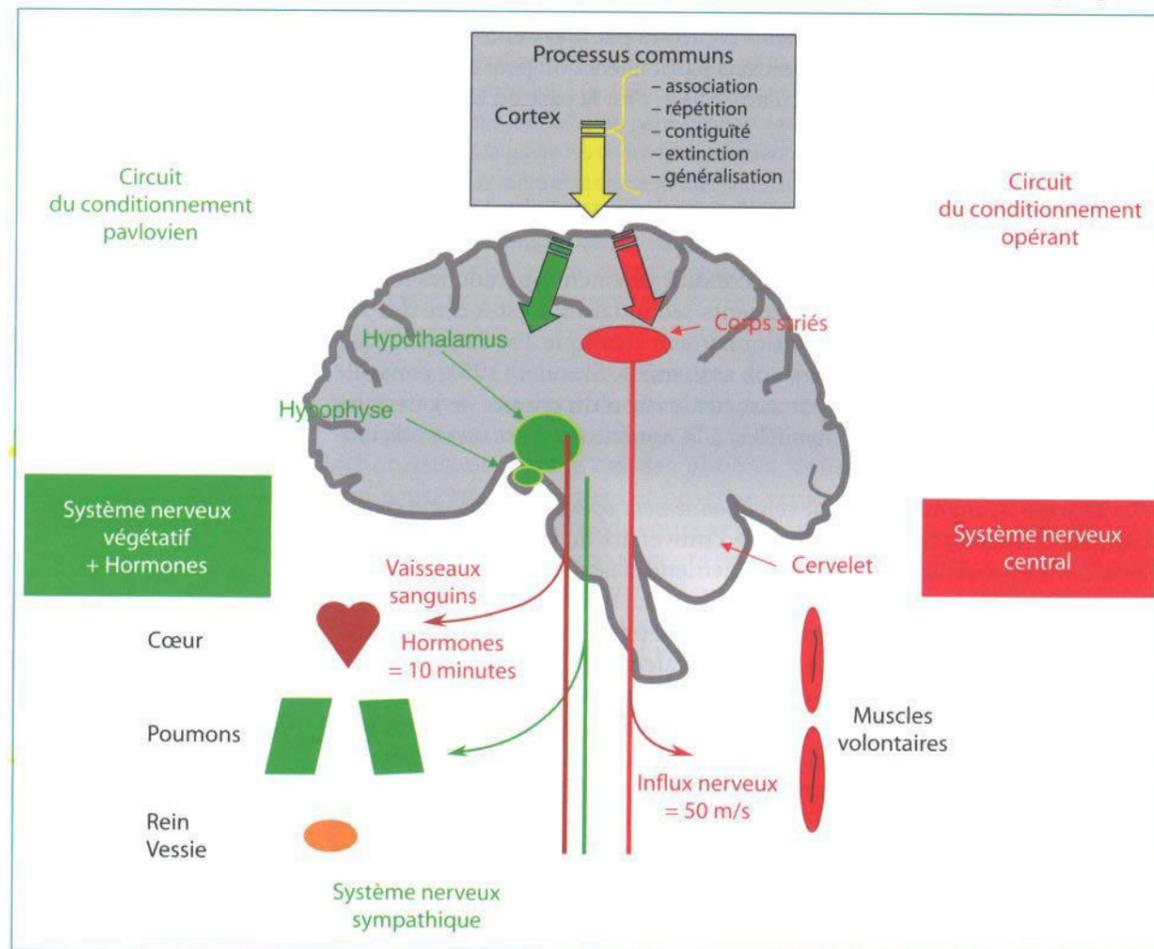


Figure 4.15 – Schéma des points communs (cortex) et circuits différents entre les deux conditionnements.

La rapidité de l'influx nerveux

Sachant que les sprinters les plus rapides courent le 100 mètres en 10 secondes (donc 10 m/s), l'influx nerveux est cinq fois plus rapide. L'influx aurait le temps de faire tout le tour du stade (400 mètres) et rattraperait les sprinters avant qu'il ne passe la ligne d'arrivée des 100 mètres. Voilà qui explique la vitesse des temps de réaction qui peuvent être de 300 à 400 millisecondes pour les plus rapides.

Ces différences de rapidité expliquent des témoignages qui semblent un paradoxe des émotions : par exemple, que des personnes échappent à un accident, de guerre, immeuble en feu, accident de voiture, par leur rapidité à s'échapper ou à bien réagir, puis sont pris de nausée et ont les jambes flageolantes lorsque le danger est passé ! C'est que les hormones du système des émotions ne voyagent pas si vite dans le sang, et arrivent aux organes en 10 ou 20 minutes.

IV. LES PROCESSUS ASSOCIATIFS ET COGNITIFS DE L'APPRENTISSAGE

Ayant la conviction d'un fonctionnement associatif des phénomènes psychologiques, les behavioristes ont vu le conditionnement comme le prototype des apprentissages. En effet, le conditionnement est une forme d'apprentissage dans laquelle on identifie facilement une association entre deux stimulus (S-S : conditionnement classique) ou entre un stimulus et une réponse (S-R : conditionnement opérant). Mais comment expliquer les apprentissages plus complexes, comme conduire une voiture, ou apprendre l'itinéraire d'une ville ? Watson considérait que toute séquence comportementale était une chaîne dont chaque maillon était un conditionnement : « le réflexe conditionné est l'unité à partir de laquelle l'habitude totale se forme » (Watson, 1958). Le théoricien du behaviorisme, Clark L. Hull, compléta cette théorie et consacra de gros volumes à démontrer que tout apprentissage, simple ou complexe, est un assemblage de segments de comportement de type S-R.

En opposition à cette vue associationniste, certains auteurs ont proposé des explications basées sur des mécanismes de synthèse des éléments de la situation, ce sont les théories cognitives impulsées essentiellement par Edward C. Tolman et le gestaltiste Wolfgang Köhler. En se basant sur des expériences souvent ingénieuses, ils ont essayé de prouver l'existence de mécanismes cognitifs, « intuition » (*insight*), prévision (*expectancy*), carte cognitive (*cognitive map*)...

Parmi d'autres situations, l'apprentissage du labyrinthe chez le rat a souvent été le « ring » où se sont affrontés les protagonistes au cours d'une controverse passionnée car ce dispositif paraît nécessiter toutes les capacités locomotrices et représentatives d'un organisme. Cette polémique a permis de construire de nouvelles procédures, d'affiner les arguments théoriques et ainsi de découvrir des hypothèses fructueuses et des erreurs dans les deux camps. La première utilisation du labyrinthe est due à Willard Small (1901) qui adapta le parcours du labyrinthe des jardins d'Hampton Court.

1. Les théories associatives

Dans la tradition associationniste du behaviorisme, Clark L. Hull de l'université de Yale a fait un effort théorique considérable qui, en dépit d'un formalisme excessif, a permis d'affiner les hypothèses théoriques. Une première version de sa théorie est parue en 1943 dans *Principes du comportement* et pour répondre à des critiques basées sur de nombreux faits expérimentaux, en particulier de Tolman, une deuxième version très élaborée paraît en 1952 dans *Un système de comportement*. La présentation de ces livres s'inspire fortement des ouvrages de mathématiques ou de physique avec des symboles, formules, postulats et théorèmes : dans *Un système de comportement*, il y a cent trente-deux théorèmes et cent symboles dans le glossaire...

Motivation et apprentissage

Dépassant le behaviorisme strict (néobehaviorisme), Hull pense que l'apprentissage est déterminé par des variables intermédiaires, le comportement n'étant lui-même que l'expression d'un potentiel excitatif résultant, dont la valeur est déterminée par la formule suivante (qui ne sera pas utilisée mais qui donne une idée du style de Hull) :

$$E = D * K * V2 * H * V1 * C$$

Où :

D = *drive* c'est-à-dire le mobile, la motivation ;

K = valeur incitatrice du renforcement (par exemple attractivité de la nourriture) ;

V1 et V2 = intensité de deux stimulus dans une discrimination ;

H = la force de l'habitude au départ de l'apprentissage ;

C = constante quantitative (estimée sur des courbes...).

En fonction des expériences, ces formules peuvent se compliquer (puisque'il y a cent symboles), mais les principes fondamentaux de Hull peuvent se résumer dans une formule simple (Figure 4.16).

Cette formule exprime un principe fondamental de l'apprentissage selon lequel on ne peut apprendre sans besoin et sans renforcement (cf. aussi chap. 9). Dans cette formule, la motivation devient le produit du besoin et du renforcement, ce qui a été appelé la « loi du renforcement » ou « loi de Hull ». Cette loi a été appliquée dans le fonctionnement commercial américain pour parvenir également en France : le vendeur n'a qu'un salaire de base minimum (pour créer le besoin) et le renforcement est la prime ou le pourcentage reçus en fonction des ventes effectuées (par exemple nombre de voitures...). Hull n'a pas inventé les « bons points » ou les « primes » mais a systématisé ce fonctionnement, dont on verra qu'il est fondamental mais pas universel (chap. 9).

Théorie de la chaîne et réponses fractionnées

Afin d'expliquer le mécanisme des apprentissages, Watson avait proposé l'hypothèse de la chaîne réflexe : l'apprentissage est une chaîne de conditionnements correspondant à chaque carrefour. Dans un labyrinthe, la réponse de chaque carrefour (par exemple, tourner à droite ou à gauche) est considérée comme associée aux stimulus tactiles et kinesthésiques résultant des mouvements précédents : « L'exécution de chaque mouvement susciterait de nouvelles stimulations tactiles et kinesthésiques qui à leur tour amèneraient le mouvement suivant » (Watson, 1914, cit. Woodworth, 1949).

Hull généralisa cette idée avec son concept de réponses fractionnées, c'est-à-dire de conditionnement d'éléments limités. Ainsi, dans le labyrinthe, à chaque carrefour, il y aurait conditionnement d'une fraction du parcours, ce sont les réponses fractionnées. Dans l'exemple (Figure 4.17), le rat vient tout droit de la case départ et ses muscles ont produit des sensations kinesthésiques de venir « tout droit » (symbolisé S_T) qui vont être conditionnées à la bonne réponse (au bout de plusieurs essais) de tourner à droite (R_D = Réponse « tourner à droite ») ; cette réponse de tourner à droite va elle-même produire des sensations S_D d'avoir tourné à droite,

$$\text{Performance} = \text{Habitude} \times \underbrace{\text{Besoin} \times \text{Renforcement}}_{\text{Motivation}}$$

Figure 4.16 – Loi du renforcement.

Drive : mobile, synonyme de motivation chez Clark Hull.

Réponses fractionnées : pour les behavioristes, le comportement (par exemple apprentissage du labyrinthe) est une chaîne de réponses fractionnées, chacune apprise par conditionnement.

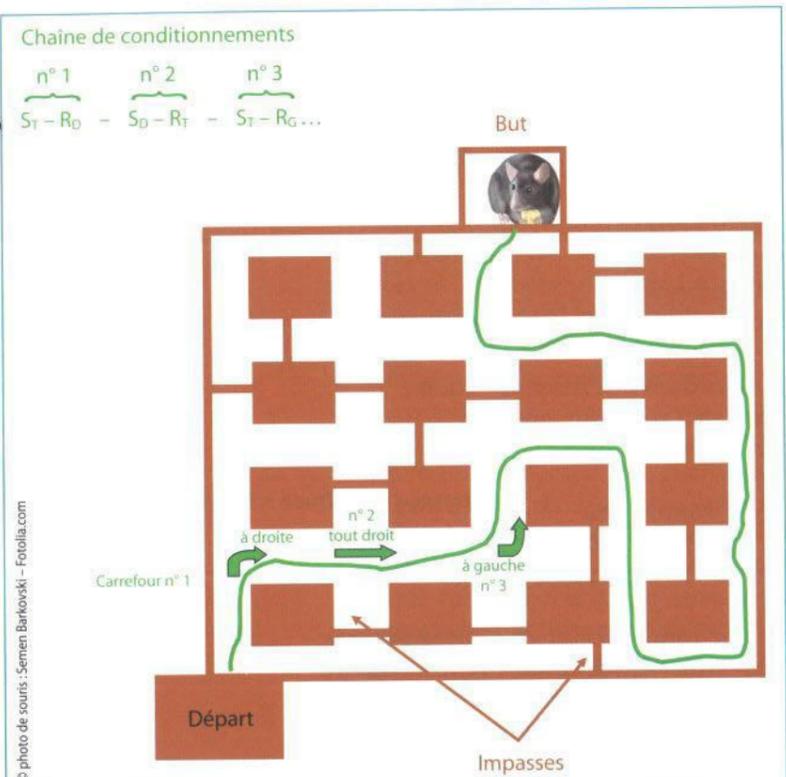
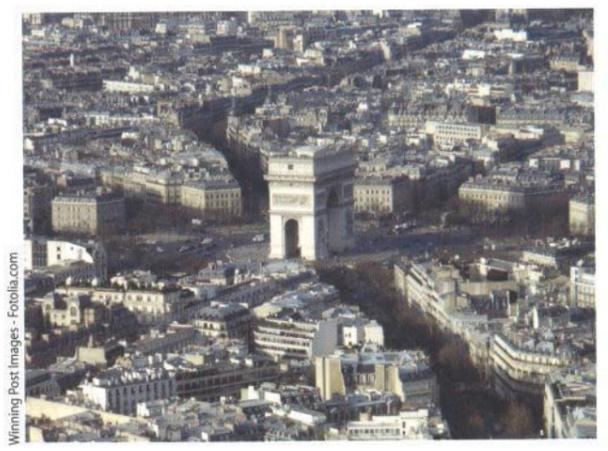


Figure 4.17 - Théorie de la chaîne de Watson/Hull : chaque carrefour crée un conditionnement stimulus-réponse.

Par exemple, si on connaît un logiciel utilisant des icônes, on apprendra plus facilement un nouveau logiciel utilisant ce type de présentation.

2. Les théories cognitives



Faut-il tourner à droite ou à gauche ? Le labyrinthe représente bien la situation familière de s'orienter dans une grande ville.

associée au carrefour n° 2 à des réponses d'aller tout droit (R_T). Au carrefour n° 3, les sensations S_T vont être conditionnées à la réponse de tourner à gauche (R_G), et ainsi de suite jusqu'à la fin du labyrinthe. Le parcours entier est donc vu par les behavioristes comme une séquence, une chaîne de conditionnements S-R.

Remplacez, dans le schéma, les blocs de bois du labyrinthe par des blocs d'immeubles et la localisation dans une ville devient un problème de labyrinthe à échelle humaine...

Voilà pourquoi, chez les behavioristes, le concept de « réponses fractionnées » était vu comme le chaînon de base de tout apprentissage complexe (remplaçant d'ailleurs la notion d'intelligence chez les behavioristes). Ainsi, on résoudra plus facilement un problème utilisant une sous-partie déjà résolue auparavant.

À l'encontre des théoriciens associationnistes, Edward Chace Tolman de l'Université de Californie, a tenté d'expliquer le comportement et l'apprentissage par des mécanismes plus cognitifs, c'est-à-dire d'élaboration de la connaissance, mais il se situait lui-même dans le courant behaviorisme en définissant un « behaviorisme de l'intention » (*purposive behaviorism*). Il a publié de nombreux articles, utilisant dans ses expériences des dispositifs très ingénieux, et un livre sur le *Comportement intentionnel chez les animaux et les hommes* (1951). Pour Tolman, le comportement n'est pas une séquence automatisée d'associations établies par conditionnement mais une réponse globale qui se réfère à une représentation mentale du but et des lieux qui permettent d'y accéder, c'est ce qu'il appelle une structure-signe (*sign-gestalt*) ou dans ses derniers écrits, la carte mentale (*cognitive map*).

Apprentissage de lieu et apprentissage de réponse

Tolman et son équipe marqueront de nombreux points (confirmés par des expériences plus récentes) contre les associationnistes en montrant que les réponses ne sont pas nécessaires à l'apprentissage : un rat apprend plus facilement un lieu qu'une réponse motrice (Tolman, Ritchie et Kalish, 1946 ; Cohen-Salmon et Blancheteau, 1968).

Le dispositif est un labyrinthe en T, surélevé fait de lattes de bois en hauteur de telle sorte que le rat (même myope) peut voir les repères de la pièce. Le labyrinthe est en forme de croix (Figure 4.17) mais l'expérimentateur ferme une des deux allées de départ par un bloc de bois qui peut se mettre soit (comme sur le dessin) au bout de D2 soit au bout de D1. Donc à chaque essai, le labyrinthe a une forme de T. Par exemple, dans le dessin, le rat part du départ n° 1 et a le choix entre aller à droite au but n° 2 ou aller à gauche au but n° 1. Deux sortes d'apprentissage sont alors prévues par Tolman et ses collègues.

Dans l'apprentissage de lieu (par exemple, but n° 2) le rat doit apprendre à aller dans le lieu n° 2 (vers les cages) ; mais s'il part du départ 1 (le bloc de bois ferme l'allée D2), il doit apprendre à tourner à droite ; à l'inverse, si l'expérimentateur le fait partir du départ D2 (le bloc ferme l'accès de D1), il doit tourner à gauche. Dans la théorie behavioriste qui privilégie les réponses motrices dans l'apprentissage, cet apprentissage devrait être difficile puisqu'il faut apprendre des réponses motrices contraires pour aller dans le même but.

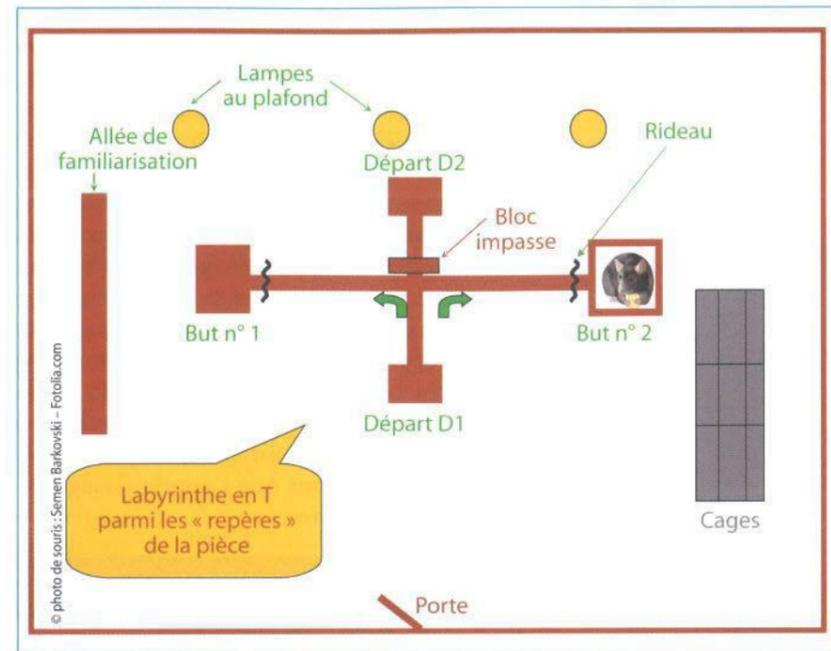


Figure 4.18 - Labyrinthe en T permettant de montrer que l'apprentissage de lieu est plus facile que l'apprentissage de réponse (Tolman, Ritchie et Kalish, 1946).

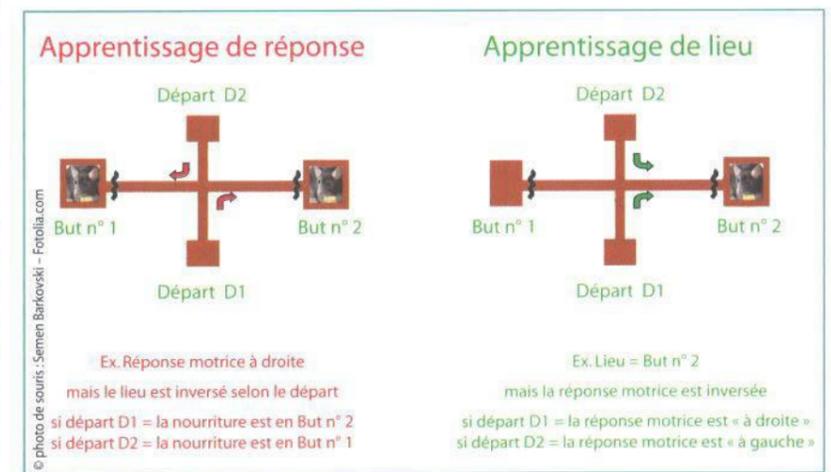


Figure 4.19 - Comparaison entre l'apprentissage de réponse et l'apprentissage de lieu.

À l'inverse, dans l'apprentissage de réponse, le rat doit apprendre une seule réponse motrice : par exemple l'expérimentateur dispose le bloc pour que le rat trouve la nourriture s'il tourne toujours à droite (pour d'autres rats, c'est à gauche). Dans cet apprentissage, le lieu est inversé : si le point de départ est en D1, tourner à droite amène au but n° 2 et si le rat est mis en D2, tourner à droite amène au but n° 1. Cet apprentissage devrait être plus facile chez le rat (et même chez les humains) selon les behavioristes pour qui les apprentissages sont un assemblage de stimulus kinesthésiques (provenant des sensations musculaires) et de réponses motrices.

Les résultats sont spectaculaires en faveur de la théorie de Tolman, les rats du groupe « apprentissage moteur » mettent cinquante et un essais en moyenne pour apprendre la bonne réponse motrice tandis que les rats du groupe « lieu » n'ont besoin que de quatre essais en moyenne. Cependant, il faut remarquer (Figure 4.18) que dans l'expérience originale de Tolman, le labyrinthe en T est dans une pièce avec des repères, les lampes, la porte, les cages ce que Tolman indique bien dans son article. Et le rôle des repères visuels est évidemment crucial dans l'apprentissage de lieu car d'autres auteurs montreront que l'apprentissage de lieu est moins rapide si l'on supprime les repères.

Les migrations d'oiseaux

D'autres recherches vont dans le sens de la conception de Tolman. Des rats ou des chiens, transportés dans une sorte de téléphérique, apprennent très vite le parcours d'un labyrinthe (Dodwell et Bessant, 1960 ; Gleitman, 1963 ; Maltzman, 1968). L'étude de l'apprentissage de l'orientation chez les oiseaux montre d'ailleurs qu'il n'y a pas mémorisation de réponses motrices mais de repères visuels. Beaucoup de migrateurs suivent les côtes et les fleuves (Dorst, 1956) et d'autres grands migrateurs comme le bruant indigo ont mémorisé des patterns d'étoiles lors de parcours antérieurs. Skinner a d'ailleurs montré que les pigeons ont une très bonne mémoire de photographies aériennes sur de très longs délais (jusqu'à 4 ans, Skinner, 1950).

Des « ratés » dus à nos conditionnements

Parfois, notre comportement n'apparaît guère plus compliqué. Un de mes amis m'a raconté qu'un matin, croyant entendre le réveil, s'est levé, lavé, a pris son petit-déjeuner puis s'est rendu sur le lieu de son travail. Mais là ne voyant personne, il a enfin regardé sa montre pour découvrir... qu'il était 3 heures du matin. C'est aussi le cas des trajets en voiture ou en métro : au début, on regarde partout, cherchant les noms des rues ou des repères, tandis qu'avec l'habitude, on tourne à droite et à gauche de façon automatique tout en écoutant la radio, en fonction probablement d'un repère simple, une station-service, un immeuble, un rond-point, sans exclure naturellement des sensations kinesthésiques, de longueur de parcours ou de sens de rotation... Une anecdote personnelle le montre bien. Lorsque je travaillais à Paris, j'avais un parcours de métro bien rôdé qui me faisait m'orienter au métro Châtelet (véritable labyrinthe car carrefour de nombreuses lignes de métro) sans problème. Si bien qu'un soir, rentrant d'un spectacle et me retrouvant à la station Châtelet, j'ai pris automatiquement les couloirs de métro du « matin » et je me suis retrouvé dans la direction de mon travail tout à fait opposée à celle de mon domicile... Les recherches sur les petits rats de laboratoire ont donc mis au jour des mécanismes qui sont présents dans nos apprentissages notamment dans les automatismes.

L'apprentissage latent

Prenant à nouveau le contre-pied de Hull, Tolman pense qu'il n'y a pas besoin de motivation pour apprendre : il y a mémorisation d'informations même en l'absence de renforcement. Les expériences de Blodgett (1929) et Tolman et Honzik (1930) faites à la même époque, le montrent en comparant trois groupes de rats. Les rats qui sont renforcés au but ne font que très peu d'erreurs au bout des seize essais de l'expérience (Figure 4.20).

Les rats qui ne sont jamais renforcés font beaucoup d'erreurs et n'apprennent pas le bon parcours. Un troisième groupe est traité de façon particulière : chaque rat n'est pas renforcé lorsqu'il arrive au but jusqu'au onzième essai, où cette fois, le rat est renforcé en trouvant de la nourriture dans le but. Or, si le renforcement était indispensable à l'apprentissage, les rats mettraient à nouveau une quinzaine d'essais après le onzième soit vingt-six ou vingt-sept essais pour faire le parcours sans erreurs. Mais au contraire, on constate que ces rats ne commettent pas plus d'erreurs au seizième essai que les rats toujours renforcés : il y a donc eu mémorisation d'informations spatiales sans renforcement, c'est l'apprentissage latent.

Pribram (1974) a également montré qu'un singe réussit plus vite un conditionnement discriminatif pour une lettre si celle-ci a été affichée auparavant dans sa cage. Le cerveau apprend donc sans nécessairement une motivation. Tolman distingue donc apprentissage et performance. L'apprentissage peut se faire sans motivation mais celle-ci joue sur la performance (par exemple, en sélectionnant le but à atteindre).

Apprentissage latent : mémorisation d'éléments de la situation (par exemple, labyrinthe) sans qu'il y ait de signes visibles avant une phase test.

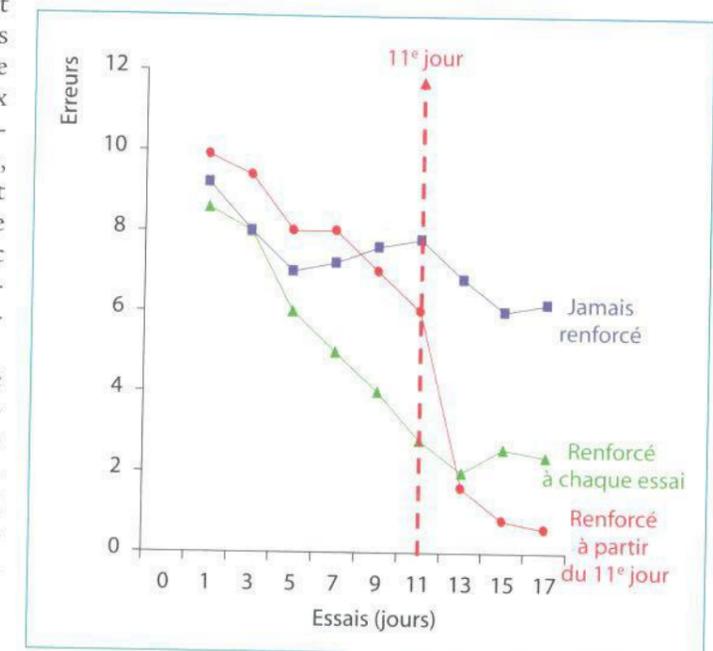


Figure 4.20 - Apprentissage latent.

La structure-signe

Dans une première conception des structures cognitives, Tolman fait l'hypothèse que le rat a la capacité d'intégrer en une représentation interne globale, la structure-signe (*sign-gestalt*), des éléments perceptifs et motivationnels de la situation. En tout point de l'environnement, l'animal sera capable grâce à cette représentation synthétique de prévoir les conséquences de ces actions. Afin de confronter cette hypothèse à une explication en termes de conditionnement, Tolman utilise un labyrinthe très simple à deux couloirs, le rat doit apprendre au cours d'une phase préliminaire à choisir le couloir caché par le rideau blanc, le rideau noir masquant une impasse (Figure 4.21). Après cette première phase d'apprentissage classique, chaque rat est directement placé au but où il reçoit des chocs électriques (deuxième phase). Dans la conception de la structure-signe, ce changement de valeur du but devrait être intégré dans la structure du précédent apprentissage de sorte qu'en situation test (troisième phase) où chaque rat est remis au point

Structure signe (*sign-gestalt*) : intégration en une structure mentale, des éléments de la situation ; permettant par exemple l'anticipation d'un renforcement lointain.

Carte mentale (*cognitive map*) : image mentale spatiale d'un parcours.

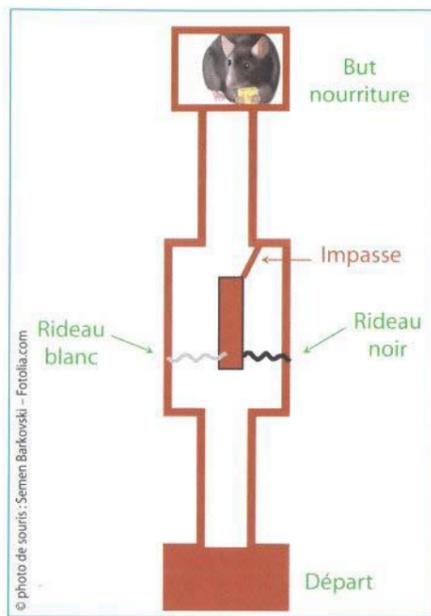


Figure 4.21 – Dispositif d'apprentissage pour l'hypothèse de la structure-signe (d'après Tolman, 1933).

de départ, le rat devrait refuser d'avancer (comme le ferait l'homme). « Hélas », comme le dit Tolman, les rats mis au départ « s'élancent gaiement » comme dans la phase préliminaire et vont directement au but. Ce résultat s'explique bien au contraire en termes de conditionnement, car le rideau blanc n'a été conditionné qu'à la nourriture.

Pour vérifier ce point, Tolman réalise une contre-épreuve dans laquelle les rats (d'autres rats), après la phase préliminaire, sont mis au point de départ et reçoivent des chocs électriques en arrivant au but après un parcours entier par le couloir au rideau blanc ; cette fois mis au point de départ dans la phase test, les rats refusent de bouger : le rideau blanc a été reconditionné négativement. Comme conclut Tolman avec humour, « si les rats ont des structures-signes de prévision, alors ces structures signes ne sont pas aussi intelligentes que je l'avais supposé » (1933).

La carte mentale

Après cet échec Tolman imagine les processus cognitifs du rat comme une capacité de déduction à partir d'une topographie mentale, la carte cognitive.

L'expérience des trois chemins

Avec C. Honzik, il réalise à nouveau un dispositif très astucieux de labyrinthe surélevé, à trois chemins, qui est devenu une expérience très célèbre. Chaque chemin est de longueur inégale et mène au but (Figure 4.22) : l'allée en pointillés fait partie du labyrinthe II d'une expérience contradictoire.

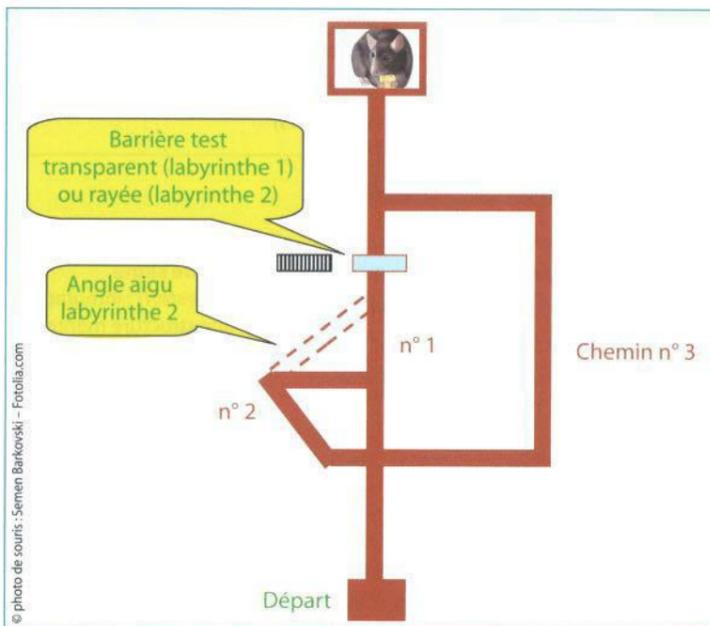


Figure 4.22 – Labyrinthe à trois chemins (Tolman et Honzik, 1930) et labyrinthe modifié (2) dans une expérience contradictoire (Dove et Thompson, 1943).

Dans un apprentissage préliminaire, on oblige les rats à explorer toutes les chemins en bloquant certains par des blocs de bois ; de cette façon, on constate que les rats placés au point de départ (D) ont une préférence pour le chemin 1, le plus court, puis le 2 et enfin le 3. Précision technique cruciale, une porte en plastique transparent ne s'ouvrant que vers le but est placée à la sortie du chemin 2 donnant sur le chemin 1 car les rats ont tendance dans des retours en arrière à prendre le chemin 2 à l'envers ; avec la porte, ils se « cognent le nez » et repassent par le carrefour commun aux trois chemins.

Dans la phase test, chaque rat est placé au point de départ, mais une barrière de plastique transparent est placée après la sortie des chemins 1 et 2, de façon à ne laisser ouvert que le chemin le plus long, le 3. Les rats

prennent le départ, se cognent contre la barrière, qu'ils ne pouvaient voir du départ, retournent au carrefour et quatorze rats sur quinze prennent alors le chemin 3 comme s'ils comprenaient que le chemin 2 était également bloqué. Tolman et Honzik en ont déduit que le rat dispose d'une carte mentale, qui lui permet de comprendre que s'il prend le chemin 2, il sera encore bloqué...

Les rats sont-ils si perspicaces ?

Mais la soi-disant perspicacité des rats a laissé perplexe certains expérimentateurs notamment Claude C. Dove et Merrell E. Thompson (1943) qui ont refait trois expériences.

- *Expérience I : réplication de l'expérience originale* : Dans la première (exp. I) d'une série de trois expériences, la procédure est la même que celle de Tolman et Honzik, mais ce n'est qu'à partir d'un deuxième essai-test que les rats prennent en majorité le chemin 3 (tabl. 4.2). Il y a donc une nuance importante avec les résultats de Tolman et Honzik : les rats ne choisissent pas d'emblée l'allée 3, ce qui n'est pas spécialement compatible avec l'hypothèse d'un processus de déduction.
- *Expérience II : labyrinthe avec un angle* : Si bien que Dove et Thompson pensent que l'allée 2 a pu faire l'objet d'un conditionnement négatif du fait que les rats se sont cognés à la porte de sortie de ce chemin, pendant la phase préliminaire. La sortie du chemin 2 serait donc devenue (le rat se cogne à chaque fois) un stimulus négatif (tout comme un choc électrique). Pour tester, cette hypothèse, les auteurs utilisent un labyrinthe modifié (labyrinthe II, Figure 4.22) où la sortie du chemin 2 fait un angle aigu avec l'allée 1. Les résultats leur donnent raison puisqu'aucun rat ne fait preuve de perspicacité au premier essai et seulement 38 % des rats prennent l'allée 3 au troisième essai...

Tableau 4.2
Pourcentage de rats prenant le chemin 3 (« intelligents ») en fonction de modification du labyrinthe (Dove et Thompson, 1943).

	Expérience I Copie « Tolman et Honzik »	Expérience II Sortie « 2 » oblique	Expérience III Sortie oblique + barrage visible
Test 1	18	0	0
Test 2	82	31	0
Test 3	100	38	0

Dove et Thompson retrouvent presque les résultats de Tolman et Honzik mais au troisième essai-test. Mais s'ils modifient (exp. II) la sortie 2 pour empêcher le retour en arrière et mettent en plus un barrage visible du départ (exp. III), aucun rat ne se montre perspicace.

- *Expérience III* : une troisième critique de la procédure de Tolman et Honzik concerne l'usage d'une barrière transparente qui oblige les rats à choisir les allées après un retour en arrière ; c'est la raison pour laquelle Dove et Thompson, dans une troisième expérience réalisée avec le laby-

rinthe II, vont bloquer la partie commune entre les allées 1 et 2, par un gros bloc de bois peint avec des rayures noires et blanches ce qui le rend visible du point de départ : et cette fois, aucun rat (sur 14) ne prend l'allée 1 ou 3, tous les rats prennent le chemin 2 pour se retrouver... à la barrière.

Rappelant que dans le dispositif de Tolman, les rats prenaient l'allée 3 lors du retour en arrière, Dove et Thompson concluent : « si les rats ne sont pas capables de compréhension lorsqu'ils sont face au but, comment peuvent-ils se comporter avec perspicacité lorsqu'ils lui tournent le dos »...

Le rat des villes et le rat des champs...

Le rongeur familial qu'est le hamster (hamster doré) a fait l'objet d'une étude similaire au laboratoire d'éthologie de l'université de Genève (Vauclair, 1980). Le labyrinthe a la même forme que celui de Tolman et Honzik mais il est entièrement clos et fait de tubes de plastique pour reproduire les galeries et pour tenir compte du mode de vie nocturne du hamster ; son comportement est filmé en infrarouges. Il est intéressant de noter que Jacques Vauclair a rencontré le problème de la sortie de l'allée 2 évoqué par Dove et Thompson ; l'expérimentateur ayant mis une nasse (filet qui se rétrécit empêchant l'entrée en sens inverse) dans le tube correspondant à la sortie de l'allée 2, les rats ne prenaient plus l'allée 2 dans la phase exploratoire et il a fallu mettre une nasse dans l'allée 3 pour contrebalancer cet effet d'évitement que Dove et Thompson avaient raison de suspecter. Les résultats du test sont négatifs puisqu'au cours des quatre premiers essais tests, aucun hamster sur quatre (sauf un lors d'un seul essai) prend l'allée 3.

L'erreur des premiers cognitivistes comme Tolman a été de se battre sur le terrain de leurs adversaires, les behavioristes, en pensant qu'il n'y a pas de différences qualitatives entre l'organisation nerveuse du rat et celle de l'homme. Le match Hull contre Tolman a permis d'éclairer définitivement ce problème en montrant que le rat est un bon modèle pour les apprentissages associatifs mais que ses possibilités de représentation mentale sont nulles ou faibles. La démonstration de ressources cognitives nécessite de travailler sur des animaux au cerveau plus évolué. Nous le verrons avec les apprentissages symboliques chez les singes anthropoïdes et évidemment chez l'homme avec la mémoire.

V. L'APPRENTISSAGE CHEZ L'HOMME : LA MÉMOIRE PROCÉDURALE

Les capacités de représentation mentale chez l'homme sont telles (le cerveau humain pèse 1 400 g contre 400 g pour le chimpanzé) que la mémoire humaine dispose de ressources défiant toute comparaison avec l'animal, un vocabulaire de dizaines de milliers de mots, la représentation du temps, etc. Cependant, une part de nos apprentissages est plus primi-

tive et correspond à des mécanismes nerveux associatifs communs avec nos ancêtres les animaux, ce qui va, sur ce point, dans le sens de la conception behavioriste. C'est le cas des conditionnements mais aussi des apprentissages sensori-moteurs, comme faire du vélo, conduire une voiture, taper à la machine.

Des chercheurs ont redécouvert l'intérêt de ces apprentissages qui sont regroupés maintenant sous le nom de mémoire procédurale.

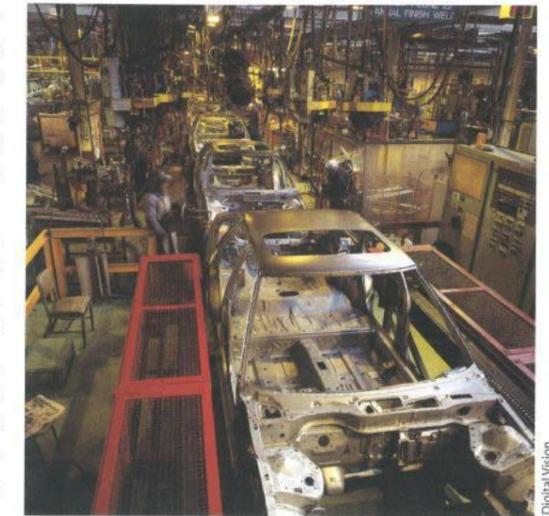
1. La courbe d'apprentissage

Lorsque les psychologues ont étudié l'apprentissage de la fin du XIX^e au début du XX^e, c'était moins pour des préoccupations théoriques que pratiques (cf. le taylorisme). Les recherches, avec pour finalité le travail ou l'éducation, se basaient sur des situations de la vie quotidienne : travail à la chaîne, dactylographie, etc.

Mais les résultats étaient souvent les mêmes et la courbe d'apprentissage chez l'homme avait toujours la même forme, une montée rapide et un plateau définissant les limites biologiques (ou à l'inverse une diminution avec un plateau pour des erreurs ou un temps). Un bon exemple de cette courbe est donné dans l'apprentissage de la télégraphie avec l'alphabet morse, qui requiert quarante semaines, c'est-à-dire presque dix mois. Les résultats indiquent une montée rapide de la performance suivie d'un plateau interprété comme les limites biologiques (Figure 4.23).

J'ai même trouvé un chapitre sur la « courbe d'apprentissage » (*learning curve*) dans un manuel d'économie : sur la base de cette loi quasi universelle, les économistes prévoient que l'homme trouvera un moyen de fabriquer moins cher un produit, et cette courbe est utilisée pour faire des prévisions de prix dans le temps.

Du reste, l'évolution des performances sportives a souvent la même forme et ne fait un bond que lors de l'invention d'une nouvelle technique (fibre de verre pour le saut à la perche, saut en Fosbury pour le saut en hauteur) ; dans le cas contraire, les performances atteignent un plateau (sauf dopage) comme c'est le cas pour la course de 100 mètres et le saut en hauteur.



Les premières études sur l'apprentissage se basaient sur les situations du travail de tous les jours et non sur des situations créées en laboratoire.

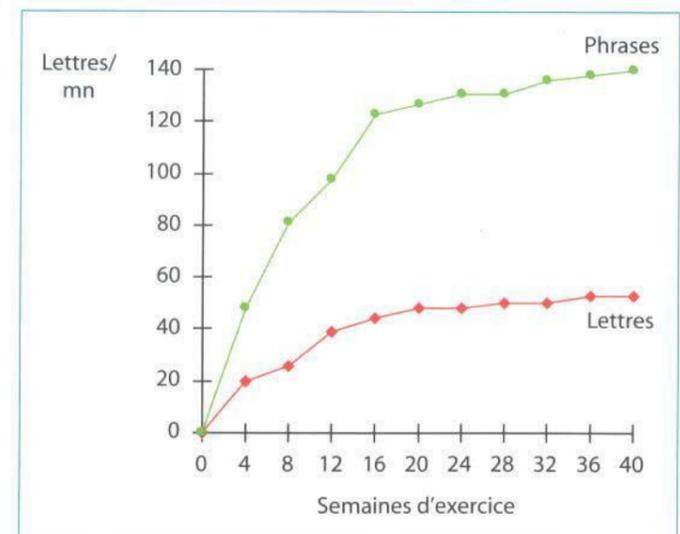
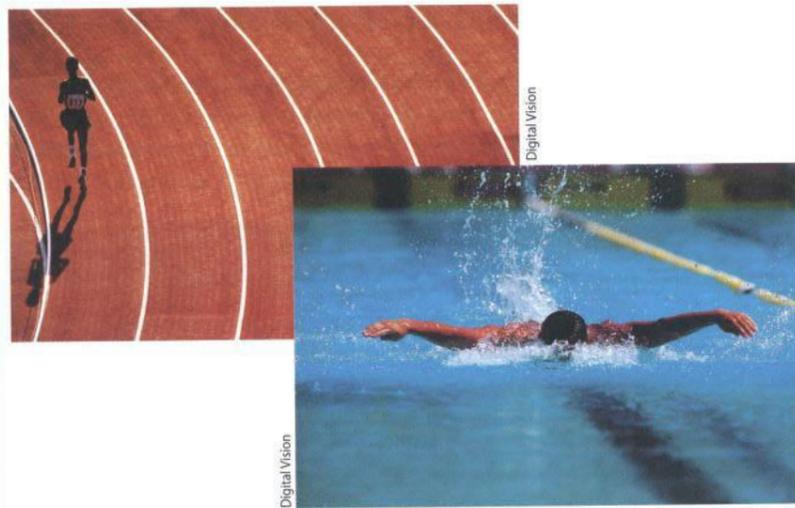


Figure 4.23 – Apprentissage de la télégraphie (envoi de lettres ou de phrases reliées) (d'après Bryan et Harter ; cit. Munn, 1956).

Courbe d'apprentissage dans le sport



Les apprentissages sensori-moteurs demandent souvent un temps considérable d'entraînement, ce qui est bien mesuré dans le sport

La performance sportive est un très bon exemple du temps considérable nécessaire dans la plupart des apprentissages sensori-moteurs ; c'est le cas la plupart du temps (par exemple, conduite automobile ; jouer d'un instrument de musique...) mais les habitudes de mesure dans le sport permettent mieux de s'en rendre compte.

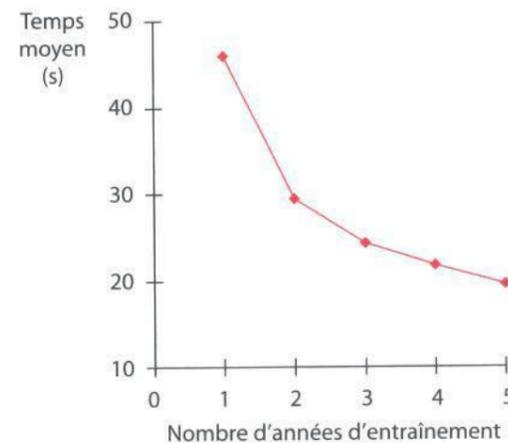


Figure 4.24 - Durée d'un apprentissage sportif. Exemple du 100 mètres dos en natation (données communiquées par J.-P. Gaillard, 2003).

Il a fallu par exemple cinq ans d'entraînement à raison de plusieurs heures de natation par semaine à une jeune athlète de niveau régional pour diminuer de moitié son temps dans le 100 mètres dos (Figure 4.24).

2. L'apprentissage massé et distribué

Un des phénomènes ayant été découvert dès le début des recherches sur l'apprentissage est que bien souvent l'apprentissage distribué (entrecoupé de périodes de repos) est supérieur à l'apprentissage massé. Par exemple, dans une situation où les sujets doivent ranger des petits cylindres dans des trous d'une boîte, les auteurs réalisent plusieurs combinaisons de temps d'apprentissage et de temps de repos. Deux groupes apprennent par périodes de 10 secondes et deux autres par périodes de 30 secondes ; le repos étant lui aussi de 10 ou de 30 secondes. Les résultats (Figure 4.25) indiquent que pour chaque temps, le repos le plus long (30 secondes) est plus efficace et cela d'autant que le temps d'exercice est plus long (30 secondes) ce qui suggère un épuisement important dans cette tâche minutieuse et rapide.

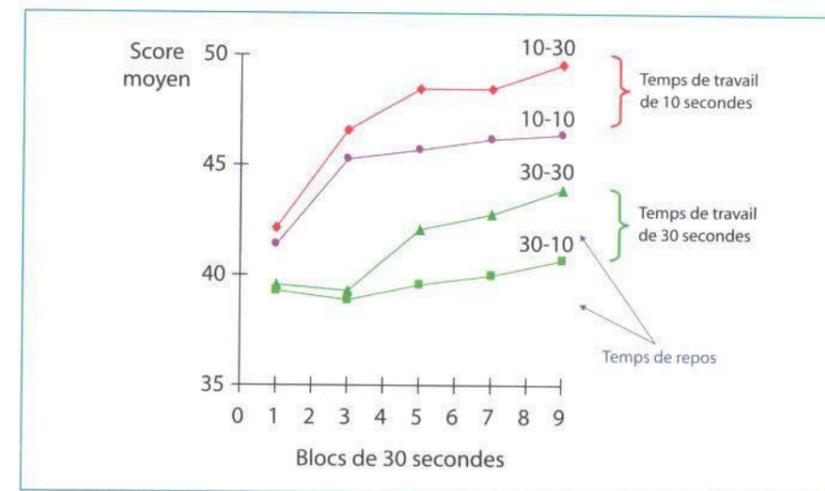


Figure 4.25 - L'apprentissage distribué.

L'apprentissage avec des courtes durées de travail (10 secondes) est plus efficace qu'avec des durées plus longues (30 secondes). Dans les deux cas, l'apprentissage avec repos (30 secondes par rapport à 10 secondes) est meilleur. Au total, l'apprentissage distribué (durée courte pour un long repos) est plus efficace que l'apprentissage massé (durée de travail longue pour un report court) (d'après Kimble et Bilodeau, 1919, cit. Munn, 1956).

Courbe d'apprentissage : en général, l'apprentissage nécessite de multiples essais (plusieurs dizaines ou centaines) ; sur un graphique où l'on porte les bonnes réponses en ordonnées, on voit une courbe monter progressivement au fil des essais pour atteindre un plateau (limites physiologiques).

Apprentissage massé/ distribué : apprendre d'un coup sans repos (massé) est en général moins efficace qu'un apprentissage divisé par des périodes de repos.

Les théories se sont succédées avec des procédures très variées, des dispositifs sensori-moteurs aux apprentissages verbaux, et cependant deux des plus anciennes hypothèses restent toujours d'actualité. Toutes deux sont des hypothèses psychobiologiques :

- hypothèse de la fatigue ou inhibition réactive (chez Hull) : En effet, le substrat de l'apprentissage est biologique comme le confirment les recherches récentes, et le neurone s'épuise en apprenant (perte d'ions, d'acides aminés, d'ARN) ce qui explique la nécessité de périodes de travail courtes ;
- hypothèse de la consolidation : l'apprentissage au niveau des neurones et de leurs connexions nécessite un temps (échanges de neurotransmetteurs, construction de prolongements cellulaires). Si bien que ménager des périodes de repos facilite l'apprentissage.

Selon les cas, l'un ou l'autre de ces mécanismes prédomine : le repos interviendrait dans des périodes courtes (par exemple, entre les essais) tandis que la consolidation biologique nécessite des périodes plus longues (périodes de sommeil notamment). Ces hypothèses ne sont évidemment pas exclusives d'autres mécanismes psychologiques.

En conclusion, avant les examens, il ne faut surtout pas bachoter mais au contraire apprendre régulièrement sur de longues périodes en évitant la fatigue et en ménageant des périodes de repos ou de loisirs.

3. Le transfert d'apprentissage

La vie serait toujours à refaire s'il fallait un nouvel apprentissage à chaque activité nouvelle. Imaginez par exemple, qu'ayant appris à conduire sur une Golf dernier modèle vous passiez autant d'heures à réapprendre à conduire sur la Fiat Panda que vous venez d'acheter d'occasion ! Heureusement, il n'en est pas ainsi grâce à la flexibilité du cerveau. Le plus souvent, un premier apprentissage facilite le deuxième (*a fortiori* si plusieurs apprentissages se suivent), c'est le transfert d'apprentissage (ne pas confondre avec le « transfert » psychanalytique). L'éducation tout entière est basée sur le transfert car il est rare que l'on trouve dans la vie une activité qui est exactement celle qui a été apprise à l'école ou à l'université.

Ce thème important a suscité un nombre considérable d'études (Oléron, 1964), dès les années 1900 (par exemple Thorndike et Woodworth, 1901 ; cit. Woodworth, 1949) jusqu'à l'affaiblissement du courant associationniste dans les années 1960. Les variétés de transfert sont très nombreuses, du transfert d'une habileté d'un membre à un autre jusqu'au transfert de stratégie de résolution de problème. Voici trois catégories typiques.

- **Le transfert bilatéral** : la capacité de faire avec une main ce qui a été appris avec l'autre main (par exemple un dessin) avait déjà été observée par Weber et Fechner (cit. Woodworth, 1949) et a fait l'objet de nombreuses études. Par exemple, dans un exercice de jongleur consistant à lancer deux balles d'une main, il faut 35 essais pour réussir avec la main droite alors qu'il faut moins de 10 essais pour que la main gauche atteigne la même habileté (Swift, 1903, cit. Woodworth, 1949).
- **Apprendre à apprendre** : d'une manière générale, plus on apprend une tâche d'un même type et plus vite on apprend, c'est « l'apprentissage à apprendre » (*learning to learn*). C'est ce que l'on retrouve, dans la vie courante, l'apprentissage d'un nouveau jeu vidéo, d'un logiciel, d'une carte d'histoire ou à faire un commentaire composé, est de plus en plus rapide au fur et à mesure que l'on pratique cette activité. Ceci peut s'expliquer par le fait que de proche en proche, la mémoire repère des sous-parties équivalentes ou des stratégies, qui rendent plus économiques les nouveaux apprentissages. L'usage des icônes, d'un logiciel à un autre, va se retrouver dans un nouveau, etc. D'où la bonne habitude de s'entraîner (les sportifs l'ont bien compris), à faire des fiches, à faire des examens blancs, à stimuler un oral... Plus on apprend, mieux on apprend !
- **Transfert négatif** : mais le transfert n'est pas toujours positif. En effet un premier apprentissage peut gêner le suivant. Par exemple, apprendre à taper sur un clavier (d'ordinateur) avec deux doigts ralentit l'apprentissage avec tous les doigts (dactylographie). L'interprétation de cette gêne ou

transfert négatif se fait aisément dans le cadre du conditionnement. Après un conditionnement entre un stimulus et une réponse, si on conditionne le même stimulus à une réponse différente, le même stimulus va quand même déclencher l'ancienne réponse et ainsi retarder l'apprentissage. Un cas typique de la vie courante est l'inversion des commandes d'essuie-glace et de phares d'une marque de voiture à une autre. Croyant mettre les phares, on met les essuie-glaces et il faut de nouveau quelques essais d'apprentissage pour ne pas s'y perdre...

4. La mémoire procédurale

Dans une perspective théorique de connaissance des mécanismes, certaines procédures mises au point chez l'animal servent toujours de test. Voici un exemple de l'utilisation de l'apprentissage du labyrinthe pour étudier les déficits dans la maladie de Parkinson. En effet, différentes études ont montré que le manque d'un neurotransmetteur spécifique, la dopamine, entraîne des lésions dans les corps striés. Or cette structure du cerveau est impliquée dans la motricité volontaire et par conséquent, il pourrait y avoir une difficulté spécifique dans les apprentissages moteurs (Thomas *et al.*, 1996).

Un apprentissage du labyrinthe (tactile, sans regarder le parcours) est utilisé comme test, comparant des malades de Parkinson (néanmoins soignés par un apport de dopamine sous forme de levodopa) et des sujets du même âge (65 ans) ainsi que des jeunes (20 ans). La courbe d'apprentissage (Figure 4.26) montre clairement la grande difficulté des patients parkinsoniens (pourtant traités) avec une diminution d'environ 50 % de la performance par rapport à des sujets jeunes ou du même âge qui ont une efficacité équivalente.

En synthétisant tous ces faits ainsi que des expériences sur l'animal, le neuropsychologue américain Larry Squire (Squire et Zola-Morgan, 1991) proposa la théorie selon laquelle il existe deux systèmes de mémoire différents reposant sur des structures neurobiologiques distinctes. La mémoire déclarative (c'est la mémoire au sens courant) (chap. 4) comprend le rappel et la reconnaissance consciente de faits ou événements et la mémoire procédurale (ou implicite) qui concerne les apprentissages sensori-moteurs (faire du vélo, etc.), le conditionnement..., la mémoire des savoir-faire.

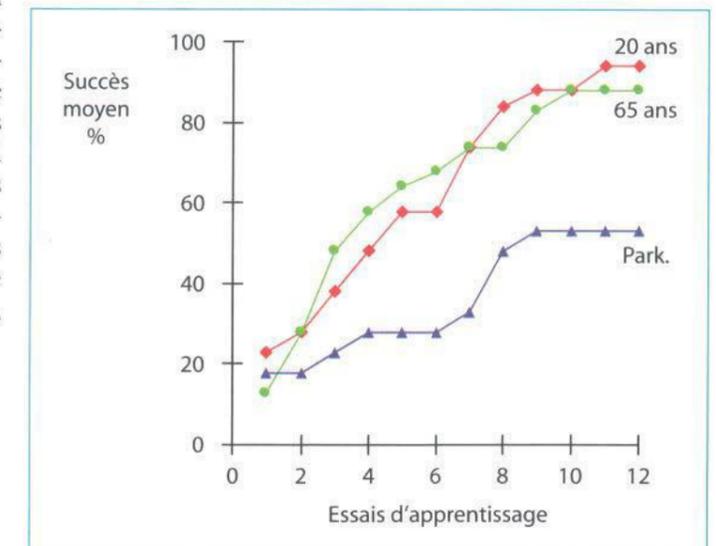


Figure 4.26 – Test d'apprentissage du labyrinthe chez des patients parkinsoniens et contrôles (d'après Thomas *et al.*, 1996).

Qu'est-ce que la mémoire procédurale ?

Mémoire procédurale : conditionnements et apprentissages sensori-moteurs, dépendant de structures cérébrales spécifiques.

5. Le cervelet : centre cybernétique des apprentissages

Considéré à tort comme secondaire par rapport au cerveau, le cervelet contient pourtant lui aussi le chiffre effarant de 100 milliards de neurones bien qu'il soit dix fois plus petit que le cerveau (Darlot, 2001). Le cervelet est très étudié et sa structure complexe (encart « Cervelet », p. 149) pourrait bien être le siège de la plupart des conditionnements et des apprentissages moteurs, bref, de la mémoire procédurale.

Ainsi, des études soviétiques ont établi que des conditionnements, notamment le célèbre conditionnement salivaire, ne se produisent plus si le cervelet est enlevé chez le chien (Karamian *et al.*, 1969, cit. Thompson, 1986). Le mécanisme complet est bien reconstitué pour le conditionnement palpébral chez le lapin. Un petit jet d'air sur la cornée de l'œil (SI = stimulus inconditionnel) produit de façon réflexe (RI) un clignement de la paupière ; associé une centaine de fois à un son, le son (SC) finira par déclencher le clignement (Figure 4.27). Le cervelet est principalement constitué par de gigantesques cellules ressemblant à des pommiers en espalier, les cellules de Purkinje (prononcer « purkinié » ; encart « Cervelet »). L'arborisation de chaque cellule de Purkinje, formée par les dendrites, est en contact avec 400 000 fibres parallèles (Darlot, 2001) qui reçoivent des copies des ordres du cerveau et des signaux du corps (par les noyaux de la base du cerveau : pont et bulbe et par les nerfs crâniens) grâce à des fibres verticales (fibres moussues et grimpantes). Les fibres grimpantes s'enroulent curieusement comme du lierre autour des branches d'un pommier (Figure 4.27). Les anatomistes ont sans doute été saisies par la ressemblance avec la nature végétale puisque ces fibres verticales ont été nommées « fibres grimpantes » et « fibres moussues ».

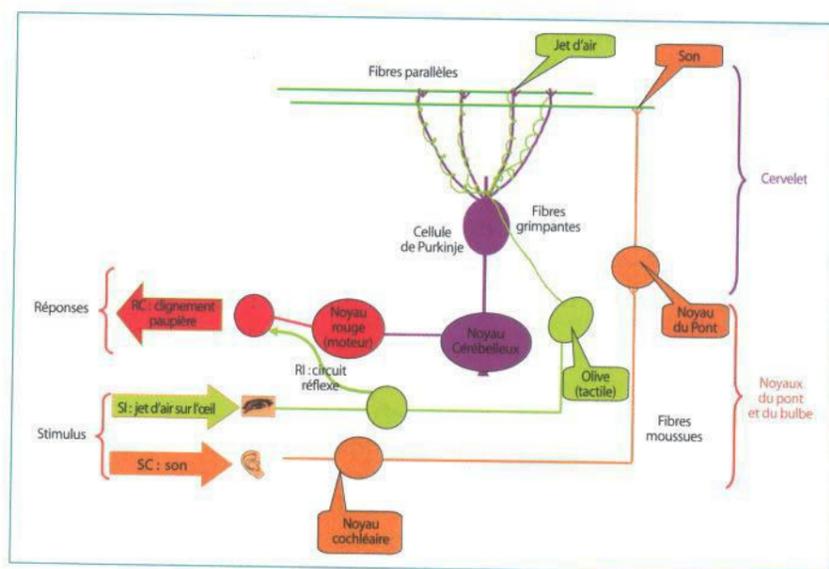


Figure 4.27 – Le cervelet pourrait bien être le support biologique du conditionnement et des apprentissages sensori-moteurs (mémoire procédurale) (adapté d'après Thompson, 1986).

Le signal nerveux tactile du jet d'air (SI) serait acheminé par les fibres grimpantes jusqu'à une fibre parallèle tandis que le son (SC) serait acheminé par les fibres moussues jusqu'à une autre fibre parallèle. Et c'est la gigantesque cellule de Purkinje qui assure la connexion, le conditionnement. Si bien que lorsque le son seul retenti, la cellule de Purkinje envoie le même signal de réponse que celui du circuit réflexe, par l'intermédiaire de différents noyaux donnant les ordres moteurs (cérébelleux, rouge...).

Enfin, par des circuits plus complexes, associant des cellules de synthèse (cellules de Golgi, de Purkinje...) et des cellules inhibitrices (cellules en corbeille, cellules étoilées...), l'apprentissage serait dû à une longue succession d'inhibitions de toutes les réponses musculaires inadéquates pour parvenir au geste parfaitement efficace. Ce qui va bien dans le sens des études comme l'apprentissage du labyrinthe qui consiste en l'élimination progressive des impasses.

De même, des apprentissages plus complexes comme la conduite automobile ou jouer du piano consistent en l'élimination des réponses musculaires inadéquates, le pied sur la mauvaise pédale, ou le mauvais doigt sur la note musicale (encart « Cervelet »).

Cervelet : cerveau de la synthèse et des inhibitions des mauvaises réponses

Le cervelet contient 100 milliards de neurones, autant que le cerveau bien qu'il n'occupe que 10 % du volume total du cerveau (Darlot, 2001). Contrairement au cerveau, le cervelet est très bien connu. Son architecture est une magnifique organisation de cinq types de cellules, fort différentes, et deux sortes de fibres amenant des informations du cortex et du corps (par les nerfs). Les fibres moussues amènent des informations sensorielles et motrices du corps ou des copies des ordres moteurs du cortex moteur. Les fibres grimpantes, qui ressemblent à du lierre autour des branches, sont des axones de l'olive inférieure, gros noyau qui synthétise déjà des signaux sensoriels résultant des mouvements et des copies des ordres du cerveau ; l'olive détecte déjà des différences comme par exemple le doigt qui ne va pas atteindre l'objet ; l'olive est un correcteur.

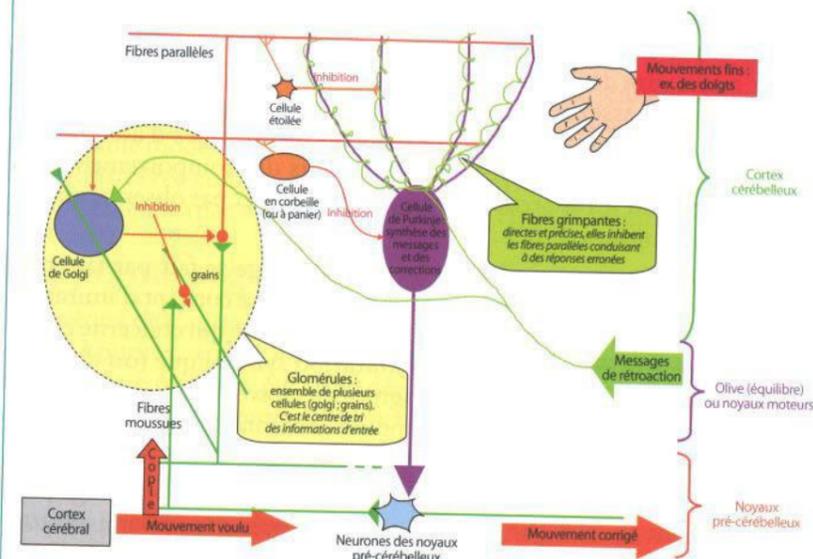


Figure 4.28 – Organisation du cervelet.

Le cervelet est un véritable central cybernétique assurant la correction en temps réel des mouvements grâce à des circuits de cinq cellules différentes et deux sortes de fibres (adapté d'après Darlot, 2001 et autres sources).

Un circuit complexe, le glomérule, est un ensemble de cellules, de Golgi, et inhibitrices, cellules étoilées et à panier (ou en corbeille), et ce circuit sélectionne les signaux pertinents pour contrôler les mouvements, en inhibant les autres. On pourrait y voir un modèle des processus d'abstraction qui sélectionnent les attributs pertinents d'une tâche (cf. chap. intelligence). Et ce sont les deux cent mille cellules de Purkinje, gigantesques cellules dont l'arborescence dendritique ressemble aux arbres en espalier d'un verger. Chaque cellule de Purkinje est traversée par quatre cent mille fibres parallèles. En relation également avec les cellules inhibitrices (étoilées et à panier), les cellules de Purkinje sont donc les cellules de la synthèse des mouvements fins. En particulier, étant donné le temps de réaction, le mouvement du doigt ou du pied serait en retard par rapport à l'ordre du cerveau, mais le cervelet anticipe de quelques dizaines de millisecondes grâce aux informations sur l'état du mouvement (sensations kinesthésiques) transmis par l'olive. Le cervelet assure donc une véritable fonction de coordination en temps réel que les chercheurs essaient de comprendre pour améliorer les fonctions biomécaniques par exemple des robots.

Remarque : un tel schéma n'est pas à apprendre en psychologie, mais permet d'entrevoir la complexité des choses et ainsi d'éviter les idées réductionnistes, par exemple que l'apprentissage est une simple association entre deux neurones...

(Source : d'après Christian Darlot, neurophysiologiste à l'École nationale supérieure des télécommunications.)

6. Les apprentissages symboliques

L'apprentissage social

Dans la nature, si l'adaptation ne se faisait que grâce à l'apprentissage par essais et par erreurs, de nombreuses erreurs seraient fatales : faire une chute, se noyer, être dévoré par un prédateur, etc. D'ailleurs, c'est certainement ce qui arrive assez souvent chez les espèces inférieures (ex : poissons, grenouilles). Mais il existe également d'autres mécanismes d'adaptation, plus rapides et moins dangereux car dépendants des comportements des congénères, ce sont les apprentissages par imitation et par observation (de Montmollin ; Bandura, 1980) :

■ apprentissage par imitation : l'apprentissage se fait par la reproduction des réponses d'un leader ou modèle. Le concept d'imitation a deux sens ; il y a une imitation sensori-motrice qui concerne essentiellement l'animal et il y a une imitation symbolique (ou différée) qui reflète un développement cognitif élevé avec des mécanismes de représentation mentale qui concerne essentiellement l'enfant et l'adulte (Janet, 1928 ; Claparède, 1964 ; Piaget, 1966) ;

■ apprentissage par observation (ou vicariant) : l'apprentissage peut également se faire par l'observation d'indices qui apparaissent au cours de l'apprentissage par un modèle, ou démonstrateur (Pallaud, 1972). L'imitation chez l'animal est parfois possible par une simple répétition des actions du modèle, alors que l'observation semble nécessiter des représentations mentales (au moins élémentaires) ; c'est surtout chez le singe que l'apprentissage par observation est clairement mis en évidence. Chez l'enfant (et l'adulte), les apprentissages par observation sont nombreux et la télévision a ainsi un rôle

crucial : ainsi pour donner de « bons modèles », les héros ne fument plus guère dans les films ou séries à succès.

En général, l'apprentissage par observation est très développé chez le singe mais il nécessite aussi de nombreuses répétitions, comme le montrent les observations de l'éthologiste japonais Masao Kawai du Japan Monkey Center à Aichi. Kawai et ses collègues ont profité du déplacement d'une colonie de singes japonais (*Macaca fuscata*) dans une île pour des raisons écologiques, pour observer les conditions de leur adaptation. Pour les nourrir, des sacs de patates douces et de blé sont lancés sur le rivage, ce qui fait que ces aliments sont salis par le sable. Kawai (1965) et ses collègues ont vu ainsi apparaître des comportements nouveaux, inventés par un individu et appris par observation de proche en proche par tous les membres de la troupe.



Du maquillage à la *Star Academy*, l'apprentissage par observation (familièrement « imitation ») est fondamental chez les enfants et même les adultes. Mais c'est un apprentissage nécessitant un cerveau évolué, car il n'apparaît vraiment qu'à partir du singe.

EXEMPLE

Le lavage des patates douces : ce comportement consistant à laver les patates dans l'eau de mer a été inventé par une femelle d'un an et demi six mois plus tard, le comportement était acquis par sa mère et trois de ses compagnons et enfin par toute la tribu au bout de 4 ans.

Le tamisage des grains de blé : le blé se trouve rapidement éparpillé et mélangé au sable de la plage. Les singes ont appris progressivement, par le même processus d'observation, à faire un tamis de leurs mains pour laver les grains de blé dans l'eau de mer.

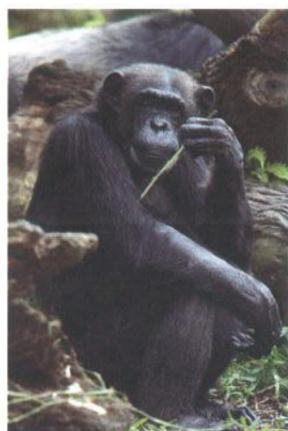
Pour désigner la transmission de ces comportements nouveaux, Kawai parle de pré-culture. De plus en plus, les singes se tiennent debout pour pouvoir utiliser leurs mains et cette conduite fournit aux paléontologistes un véritable modèle vivant de l'apparition de la station bipède qui est souvent considérée comme le facteur qui a permis le développement de la boîte crânienne (par mutations favorables) chez l'homme.

L'apprentissage d'un langage

L'évêque de Canterbury aurait dit en voyant le premier orang-outan du zoo de Londres : « Il ne lui manque que la parole pour que je le baptise. » Le langage a toujours été considéré en effet comme la frontière ultime entre l'animal et l'homme ; et pourtant...

Washoe et le langage des signes

Wolfe (1936) et Cowles (1937) avaient déjà montré que l'apprentissage était possible chez des chimpanzés en leur donnant non une récompense alimentaire mais des jetons convertis ultérieurement (de retour dans leur cage) en nourriture (cacahuètes...). Mais la démonstration de l'acquisition d'un véritable langage revient à Allen et Beatrice Gardner (1969) (suivis par d'autres, Ann et David Premack, 1972, etc.). Leur idée géniale a été de penser que l'incapacité d'apprendre un langage chez le chimpanzé vient peut-être d'une limite des organes articulatoires et non d'une



Le chimpanzé nous ressemble tant (98 % de gènes communs), comment croire qu'il ne pense pas et ne puisse parler ? Jane Lawick-Goodall (1970) est la première à les voir attraper des termites en plongeant une tige d'herbe dans les trous d'une termitière, comme un outil. Ce sont Allen et Beatrice Gardner qui ont eu l'idée d'utiliser un langage des sourds, pour apprendre à Washoe à parler par signes. Washoe est le premier chimpanzé ayant appris un langage.

limite intellectuelle. Or le chimpanzé est très habile de ses mains. Jane Lawick-Goodall (1970) qui a vécu parmi des chimpanzés dans la forêt les a, par exemple, vus attraper des termites en plongeant une tige d'herbe dans les trous d'une termitière. Allen et Beatrice Gardner ont donc eu l'idée d'utiliser un langage des sourds aux États-Unis, l'*American Sign Language* (Ameslan).

L'expérience a débuté dans le campus de l'université du Nevada en juin 1966 avec une jeune femelle chimpanzé d'environ dix mois (le chimpanzé est adulte vers 14 ans et peut vivre, en captivité, jusqu'à 40 ans) et qu'ils ont appelée Washoe du nom d'un comté du Nevada. Washoe est constamment entourée de compagnons humains (qui connaissent l'Ameslan) et qui s'occupent d'elle, jouent et lui témoignent de l'affection, il y a même quelqu'un pendant son sommeil ; dans ces conditions elle imite facilement ses modèles humains (d'autres expérimentateurs ayant élevé un chimpanzé dans un environnement humain, Yerkes, les Hayes, ont noté une très grande capacité d'imitation à condition que les stimulations soient visuelles) : elle se brosse les dents tous les jours, joue à la poupée dès le deuxième mois de l'expérience, et le dixième mois, Washoe lave une de ses poupées exactement comme on la lave dans son bain, la séchant avec une serviette et parfois la savonnant... Le développement de son langage est assez rapide, quatre signes apparaissent durant les sept premiers mois, neuf nouveaux signes durant les sept mois suivants, et à nouveau vingt et un dans les sept autres mois. À 4 ans et demi, Washoe a acquis un vocabulaire de cent trente-deux signes, désignant des actions « viens », « va », « manger », des objets « brosse à dent », « fleur » et des personnes, elle-même et ses compagnons ; elle s'est même montrée capable de faire des « phrases » combinant deux signes « jouer-balle »...

Kanzi, le bonobo aux mille mots

Cependant, les performances de Washoe ont été largement dépassées par un singe d'une espèce récemment découverte, le bonobo. Quoiqu'on ait cru qu'il s'agissait d'une race de chimpanzé, le bonobo, qui ne vit que dans une portion de la forêt du Zaïre, semble un très proche cousin de l'homme, plus proche encore que le chimpanzé qui ne marche qu'à quatre pattes ; le bonobo vit dans les arbres et marche debout ; son squelette est très proche de l'australopithèque, l'homme le plus ancien (3 millions d'années).

Des recherches approfondies ont été entreprises au centre du langage de l'université d'Atlanta en Georgie par Sue Savage-Rumbaugh (1993) et montrent les capacités étonnantes d'un bonobo élevé dès son jeune âge comme un enfant. L'équipe avait construit, pour étudier le langage des primates, un lexigramme d'environ deux cent cinquante symboles. Les primates ne pouvant parler, le lexigramme est une tablette informatique permettant de synthétiser la parole en appuyant sur un signe (ce dispositif est utilisé pour certains handicapés cérébraux). En observant un autre bonobo (sa mère adoptive) lors de séances d'apprentissage, Kanzi apprit spontanément un certain nombre de signes. Plus tard, son apprentissage systématique lui a permis d'associer des mots entendus à des photos d'objets ou de personnages. Kanzi est ainsi capable de comprendre mille mots : des

objets, clé, porte ; des fruits, banane, pomme ; de la nourriture, jus de fruits, bonbons ; des personnes, Sue et les autres membres de l'équipe, sa famille ; d'autres animaux, mulot, serpent ; etc.

Spontanément, il est ainsi capable de comprendre des phrases en faisant l'action correspondante, laver une pomme de terre, allumer un feu avec un briquet, et à l'inverse de s'exprimer grâce au lexigramme. Il est capable d'exécuter les actions correspondant à six cents phrases (donc vraisemblablement plus), comme de mettre une clé dans le réfrigérateur, de dénouer les lacets et d'enlever la chaussure.

Chez l'homme, les systèmes de représentation vont se développer d'une manière si considérable qu'il pourra coder et communiquer les événements du passé. Le point culminant des niveaux d'apprentissage est atteint, la mémoire. L'animal, avec les singes comme chaînons intermédiaires, est prisonnier du présent. Avec la mémoire, l'homme ne l'est plus ; pour quelques instants, il peut s'échapper du temps...