

2m11. 2771.1

Université de Montréal

Les neurosciences et la réduction  
des processus cognitifs : l'approche de Eric R. Kandel

Par

Jean Frigault

Département de philosophie

Faculté des arts et des sciences

Mémoire présenté à la faculté des études supérieures

En vue de l'obtention du grade de

Maître ès sciences (M. Sc.)

En philosophie

Décembre, 1999

© Jean Frigault, 1999

Université de Montréal



1.1555 1002

B  
29  
U54  
2000  
V.001

Université de Montréal

Les services de la bibliothèque

des sciences humaines et sociales de l'École R. Kwant

Pa

Jean-François

Département de philosophie

Faculté des arts et des sciences

Université de Montréal - 3150 Avenue des Grands-Prés

Montréal, Québec H3T 1J4

Téléphone: (514) 343-7311

Enthousiasme



Université de Montréal  
Faculté des arts et des sciences  
Département de philosophie

Facultés des études supérieures

Ce mémoire intitulé :

Les neurosciences et la réduction  
des processus cognitifs : l'approche de Eric R. Kandel

---

présenté par :

Jean FRIGAULT

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

MM. Daniel Laurier, président

Jean-Pierre Marquis, directeur

Michel Seymour, membre

Mémoire accepté le *4 février 2000.*

## SOMMAIRE

Depuis des siècles, les philosophes tentent de saisir la nature des liens entre le corps et l'esprit. Or, depuis le milieu du vingtième siècle, les neurosciences et les sciences cognitives se sont développées parallèlement afin de donner une réponse empirique à cette question. Les chercheurs s'interrogent maintenant sur la nature des liens unissant ces deux domaines.

Les sciences cognitives ont pour objet l'analyse minutieuse des réponses comportementales afin d'en déduire l'influence d'un processus cognitif. Pour leur part, les neurosciences se concentrent sur l'observation fine de la matière qui compose le système nerveux central,<sup>1</sup> les neurones, et tentent d'expliquer, à l'aide de cette analyse, comment les propriétés du système nerveux affectent le comportement. Les sciences cognitives et les neurosciences ont donc développé concurremment des méthodologies très différentes, les premières se concentrant sur l'analyse des comportements et les secondes sur la description des propriétés physiques et chimiques du tissu neural.

Il est cependant possible de donner une description de la nature du lien entre ces deux sciences. Les sciences cognitives expliquent les mécanismes neuraux découverts en neurosciences par leur analyse des processus cognitifs inférés. Les neurosciences seraient donc le domaine qui permet l'observation d'un phénomène tandis que sa compréhension serait apportée par les sciences cognitives. Ainsi, il pourrait y avoir une réduction maté-

---

<sup>1</sup> L'expression « système nerveux central » désigne l'ensemble des structures en continuité que sont le cerveau, le tronc cérébral, la moelle épinière et le cervelet.

rialiste des sciences cognitives aux neurosciences sans qu'il y ait élimination des sciences cognitives. Ces dernières perdraient ainsi leur indépendance face aux sciences de la nature, mais gagneraient une base matérialiste solide qui permet d'asseoir leurs théories sur des mécanismes physiques et chimiques.

Par contre, il y a forcément une élimination de certains concepts des sciences cognitives. En effet, tout processus cognitif qui n'a pas d'influence sur le comportement ou qui ne peut être exprimé sous forme d'un ensemble d'échanges d'influx nerveux doit être rejeté et ce, pour des raisons d'ordre strictement ontologique. Les chercheurs doivent démontrer que le processus cognitif a un effet sur la matière pour pouvoir être empiriquement étudié.

Dans ce cadre matérialiste, les processus cognitifs seraient des règles permettant aux neurones de gérer l'information perçue par les organes sensoriels et de régir leur influence sur le comportement. L'esprit serait l'union de ces règles. Il faut toutefois le préciser, la nature de celles-ci reste cependant à établir.

Nous allons procéder, pour cette étude, à la description des travaux du chercheur en neurosciences Eric R. Kandel sur les mécanismes neuraux de l'apprentissage et de la mémoire pour en saisir les thèses importantes. Nous présenterons ses travaux dans leurs grandes lignes : nous décrirons bien sûr les limites de l'approche de Kandel, qualifiée par certains de radicale, en analysant les raisons empiriques pour lesquelles quelques-uns de ses principes se sont avérés trop simplistes. Cependant, les principes généraux de ce

chercheur restent valables et ils constituent une révision en profondeur du béhaviorisme pour associer le cadre des neurosciences à celui des sciences physiques. Nous pensons que c'est pour cette dernière raison que certains philosophes pensent que les travaux de Kandel sont représentatifs des recherches en neurosciences. Les conclusions que nous tirons sur ces principes généraux sont alors valables pour l'ensemble des chercheurs qui partagent les principes décrits par Kandel. L'analyse des principes théoriques et méthodologiques de ce chercheur constitue la plus grande part de cette recherche.

## TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE .....	iii
TABLE DES MATIÈRES .....	vi
REMERCIEMENTS .....	viii
AVANT-PROPOS .....	ix
INTRODUCTION .....	1
CHAPITRE 1 .....	7
1 Les thèses générales .....	9
1.1 La mémoire et les sciences cognitives .....	9
1.2 Le monisme matérialisme et déterministe .....	14
1.3 L'apprentissage en tant qu'adaptation .....	19
1.4 L'alphabet élémentaire des comportements et des processus cognitifs .....	25
1.5 Les mécanismes neuraux élémentaires .....	28
1.6 La similitude entre l'humain et l'animal .....	32
2 Principes radicaux de Kandel .....	41
2.1 Le réductionnisme de Kandel .....	41
2.2 Rejet du changement dynamique .....	45
2.3 Isolation de la facilitation présynaptique .....	49
2.4 Critique de la conception du mécanisme unique de l'apprentissage	53
CHAPITRE 2 .....	61
1 Le béhaviorisme .....	61
2 La réduction .....	73
2.1 Les principes de la réduction selon Eric Kandel .....	73
2.2 La réduction radicale .....	79
2.2.1 La réduction homogène .....	81
2.2.2 La réduction hétérogène .....	84
2.2.3 Le modèle sémantique de la réduction .....	89

2.3 La réduction modérée .....	90
2.3.1 Le modèle contrefactuel de la réduction .....	93
2.3.2 Modèle explicatif de la réduction .....	96
CHAPITRE 3 .....	99
1 La présentation de la technique de réduction .....	99
2 Discussion sur la validité de la technique de réduction .....	107
CONCLUSION .....	110
BIBLIOGRAPHIE .....	119

## Remerciements

Nous désirons particulièrement remercier monsieur Jean-Pierre Marquis pour son indéfectible supervision et ses conseils toujours judicieux et stimulants. Nous espérons que l'existence même de ce mémoire rendra quelque peu justice à tout le soutien qu'il nous a si généreusement prodigué.

Nous aimerions aussi remercier mesdames Hélène Gagné, Francine Morency, Mylène Poirier et Sophie Brouillet, ainsi que monsieur Stéphane Potvin pour leur aide si précieuse durant la relecture de cette étude. Nous remercions finalement madame Thérèse Frigault pour son inestimable support quant à la mise en page de ce texte.

## AVANT-PROPOS

Ayant une formation en psychologie, nous avons pensé qu'il serait possible d'enrichir le débat philosophique sur la réduction entre les sciences cognitives et les neurosciences en introduisant l'analyse du matérialisme utilisé en neurosciences.

Nous avons choisi en particulier l'analyse des théories d'Eric R. Kandel car nous pensons que par son radicalisme, il serait aisé de définir son approche de la réduction. Toutefois, ce choix s'est rapidement avéré frustrant car nous sommes conscients que nous ne faisons qu'effleurer certains thèmes très importants de la philosophie, sans jamais pouvoir entrer dans les détails comme nous l'estimons pourtant nécessaire. Cela explique en grande partie l'aspect sommaire, parfois même caricatural, de certaines définitions proposées ; la philosophie est évidemment un domaine large et abondant de recherches sur les différents thèmes abordés. Nous n'avons alors que présenté les concepts strictement nécessaires à la compréhension de l'approche des neurosciences.

Nous espérons simplement démontrer qu'une approche multidisciplinaire de la problématique peut être fructueuse en introduisant de nouvelles perspectives dans ce débat si ancien.

Nous dédions ce mémoire à Madame Sylvie Belleville qui a su nous faire comprendre toute l'importance et la richesse de la neuropsychologie cognitive de la mémoire.

... celui qui veut goûter de toute science,  
qui se met joyeusement à l'étude et s'y révèle insatiable,  
celui-là nous l'appellerons de bon droit philosophe...

*Platon, La république V, 475*

## INTRODUCTION

Quels sont les liens entre la conscience et le corps? Depuis la nuit des temps, les philosophes étudient la question des rapports entre la matière et l'esprit. C'est une interrogation fondamentale non seulement pour la philosophie mais aussi, et surtout peut-être, pour le genre humain.

Depuis la deuxième partie du vingtième siècle, deux disciplines scientifiques, les sciences cognitives et les neurosciences, tentent de répondre à cette question en employant des approches respectives très différentes. L'objectif est d'utiliser des données empiriques dans le but de découvrir la nature des processus cognitifs et de leurs substrats matériels. Les chercheurs s'interrogent maintenant sur l'existence et la forme du lien entre ces deux disciplines ainsi que sur l'image de l'esprit qui se dégagerait de cette union.<sup>2</sup> Malheureusement, les philosophes se sont peu attardés à tenter de comprendre les impacts de ce questionnement sur leur propre réflexion philosophique. Le but de cette étude est donc de mieux saisir le lien entre les neurosciences et les sciences cognitives.

Le principe de base de cette recherche est la justesse des résultats empiriques que nous citons : les données expérimentales nous donnent une idée fiable de leur sujet d'étude. En effet, nous avons choisi des résultats peu contestés et reproduits avec succès. Ce

---

<sup>2</sup> Ce débat est d'ailleurs toujours d'actualité. Nous référons, par exemple, le lecteur à De-Granpre, R.J. (1999). *Just cause?*.

sont des recherches « classiques » dont nous n'avons pas l'espace nécessaire pour les justifier adéquatement. Notre but n'est pas de critiquer leurs différentes méthodologies utilisées mais plutôt de comprendre quel genre d'information nous pouvons en obtenir et quelles sont les limites de ces recherches.

Partant de cette base, nous présentons les travaux et les concepts théoriques d'un chercheur qui a justement étudié le lien entre un processus cognitif, la mémoire, et les mécanismes neuraux du système nerveux central. Nous avons choisi les travaux d'un chercheur, Eric R. Kandel, dont la démarche semble représentative, pour certains philosophes, du cadre théorique des neurosciences, afin de saisir les principes théoriques et pratiques utilisés dans ce domaine. Nous étudions ainsi les recherches d'Eric Kandel dans ce sens, c'est-à-dire en analysant les principes qui les animent.

Comme nous le constaterons, ces principes ont des justifications essentiellement pragmatiques. En effet, les principes utilisés par Kandel sont relatifs à leur sujet ainsi qu'à la méthodologie utilisée. Ils imposent certaines limites ontologiques mais n'ont pas de justification métaphysique. Ils définissent donc le choix ontologique des sujets de recherche acceptables. Il est inutile de dire que ces justifications sont peu intéressantes pour la majorité des philosophes.

Nous avons concentré notre analyse sur les travaux d'Eric Kandel publiés avant les années quatre-vingt-dix car ils sont d'un radicalisme et d'une cohérence interne re-

marquable. Par la suite, certaines de ses prétentions ont été rejetées. Il apporte après 1990 des correctifs qui s'avèrent moins intéressantes, pour nous, car elles en font un ensemble de réflexions ayant une cohésion interne plus problématique à établir. Nous allons aussi nous pencher sur les reproches que les chercheurs en neurosciences lui ont imputés et surtout sur leurs impacts théoriques et méthodologiques. Nous pourrions ainsi mieux départager les principes que Kandel a en commun avec les autres chercheurs en neurosciences et ceux qui lui sont personnels. Comme nous le verrons, les principes plus généraux de Kandel sont partagés par la majorité des chercheurs en neurosciences et ne sont aucunement touchés par les critiques.

Les conclusions selon lesquelles les processus cognitifs ne peuvent être exprimés que par des propriétés strictement matérielles ne sont alors pas remises en question. Dans ce cadre théorique matérialiste, l'esprit est l'union des différents processus cognitifs élémentaires. Ces processus aident à mieux comprendre la gestion par les neurones de l'information provenant des organes sensoriels. Grâce à ces capacités cognitives, les chercheurs déchiffrent avec plus de facilité le contrôle des comportements dont elles font entièrement partie, sans les dépasser. Cela permet d'adapter l'individu à son environnement. Le statut ontologique de ces processus cognitifs demeure cependant incertain.

Nous constaterons qu'Eric Kandel ne semble se soucier que de l'approche « internaliste » de la problématique pour des motifs qui seront discutés au troisième chapitre. Pour cette raison, nous ne ferons référence à des propositions alternatives (survenance, émergence, intentionnalité, fonctionnalité, téléologie, etc.) qu'à la fin de ce chapitre dans

notre discussion sur les limites d'une approche matérialiste aussi radicale. Il serait bien sûr intéressant d'aborder directement de tels sujets mais l'espace de discussion disponible nous en empêche.

Eric R. Kandel est évidemment un chercheur en neurosciences et n'a écrit aucun article se rapportant à la philosophie, même de loin. En conséquence, les définitions des concepts philosophiques qu'il emploie, et que nous exposerons de manière sommaire, sont utilisées par Kandel dans leur sens général. De plus, nous décrirons tout aussi brièvement les modèles de réduction car ils ne semblent pas correspondre pas à la démarche entreprise par Kandel.

Il y a cependant un choix à faire. Quel est le langage à adopter pour caractériser les processus cognitifs, celui des sciences cognitives ou celui du sens commun, *folk psychology*? Il n'y a pas d'isomorphisme possible entre ce langage populaire et le langage des sciences cognitives. Ils ne se comparent pas.<sup>3</sup> Nous devons choisir le vocabulaire utilisé. Par exemple, Paul Churchland suggère de se servir du langage du sens commun.<sup>4</sup> Or, les classements naturels donnés par le sens commun se voient souvent être des arrangements hétérogènes où plusieurs mécanismes peuvent engendrer un même processus.<sup>5</sup> Par contre, la justification principale quant à l'utilisation du vocabulaire des sciences cognitives provient tout simplement du fait que le langage du sens commun n'est pas utilisé par les chercheurs des neurosciences. Ces derniers lui préfèrent celui des sciences cognitives.

---

<sup>3</sup> Rose, S.P.R. (1981). What should a biochemistry of learning and memory be about?, p.813.

<sup>4</sup> Churchland, P.M. (1989). A neurocomputational perspective, p.22.

<sup>5</sup> Brooks, D.H.M. (1994). How to perform a reduction, p.805-806.

Le premier chapitre porte sur la description des travaux de Kandel. Nous ferons cependant une petite digression au début de celui-ci afin de caractériser très sommairement la conception de la mémoire des sciences cognitives et, en particulier, le processus cognitif d'entreposage. Par la suite, nous présenterons les principes de recherche les plus généraux de Kandel jusqu'à sa découverte la plus significative, la facilitation présynaptique. La place que Kandel accorde à ce mécanisme dans sa conception de l'apprentissage caractérise la position particulière du chercheur. Cette place sera analysée selon les objections qu'elle a engendrées en neurosciences. Nous tenterons dans ce chapitre de faire ressortir les principes servant, selon Kandel, à réduire le mécanisme neurologique de la facilitation présynaptique au processus cognitif d'entreposage.

Dans le second chapitre, nous présentons la part d'élimination causée, entre autres, par la méthodologie utilisée, soit les techniques behavioristes. Nous comparons d'ailleurs la démarche de Kandel et la doctrine du behaviorisme en psychologie. Nous présentons aussi certaines théories de la réduction développées en philosophie. Comme nous le verrons, aucun des modèles présentés ne semble correspondre à la démarche d'Eric Kandel.

Dans le troisième chapitre, nous présentons la technique de réduction utilisée en pratique par Kandel et sa part intrinsèque d'élimination de certains concepts cognitifs. Nous pourrions constater que Kandel n'est absolument pas un théoricien. Il est plutôt un genre de technicien qui tente, par une méthode « essais/erreurs », de découvrir les mécanismes de la fameuse boîte noire à l'aide de différentes hypothèses de travail. Nous nous

interrogerons finalement sur la valeur ontologique d'une telle démarche : est-ce vraiment un modèle de réduction?

En conclusion, nous ferons une synthèse de notre analyse pour en faire ressortir l'image de l'esprit qu'elle génère. Bien qu'elle ne semble pas avoir de contradiction interne, cette image est relative à des critères et à des justifications méthodologiques. C'est sa principale limite.

## CHAPITRE 1

Le principe de base de cette étude est que les recherches empiriques en neurosciences et en sciences cognitives nous donnent une idée juste de leur objet d'étude. Le but de ce premier chapitre est alors de décrire le genre d'information que les chercheurs peuvent obtenir de ces deux domaines scientifiques. En premier lieu, nous allons présenter très sommairement la conception de la mémoire en sciences cognitives et, en particulier, son processus d'entreposage. Par la suite, nous allons décrire les travaux d'Eric R. Kandel, particulièrement ceux traitant de la facilitation présynaptique, en précisant leurs principes méthodologiques et leurs limites. Comme nous pourrons le constater, celui-ci tente de réduire le processus cognitif d'entreposage au mécanisme neural de la facilitation présynaptique.

\* \* \* \*

Eric Kandel a reçu une formation de l'école médicale où il s'est spécialisé en psychiatrie d'orientation psychanalytique. Son sujet de recherche portait sur les mécanismes neurologiques de l'apprentissage des traumatismes infantiles. Une fois reçu professeur à l'université de Columbia, Eric Kandel a voulu approfondir sa connaissance des mécanismes élémentaires de l'apprentissage par l'étude de l'aplysie. Il a ainsi fait des découvertes fondamentales que nous décrirons plus loin. L'importance de ses études sur ce mollusque n'est d'ailleurs plus à discuter. Eric Kandel et son équipe ont aussi eu une grande influence théorique et pratique dans les années quatre-vingts grâce à leur célèbre livre *Principles of neural science*. Ce livre se veut une introduction détaillée à l'ensemble

des domaines couverts par les neurosciences. Tout étudiant en neurosciences ou même en psychologie a été en contact avec les travaux d'Eric Kandel.

Le but de ce chapitre est de saisir les principes sur lesquels il base ses travaux. Les croyances personnelles de Kandel, celles qui n'ont pas d'impact sur ses recherches, nous indiffèrent. Par contre, nous porterons une attention particulière aux principes qu'il utilise, même s'ils ne sont pas spécifiquement explicités. Nous ne tiendrons pas compte d'un principe non utilisé.

Certains chercheurs, dont Gold et Stoljar,<sup>6</sup> considèrent que les recherches d'Eric Kandel sont représentatives de l'ensemble des travaux en neurosciences. Comme nous le verrons plus loin, il faudra nuancer cette affirmation en différenciant les thèses personnelles de Kandel et celles qu'il partage avec la majorité des chercheurs en neurosciences. C'est grâce à la promulgation de ses thèses personnelles que Kandel s'est fait une réputation de radicalisme en neurosciences, car il tente de réduire le processus cognitif d'entreposage au seul mécanisme de la facilitation synaptique qu'il a découvert. Nous présenterons alors de manière sommaire la conception de la mémoire en sciences cognitives pour saisir les caractéristiques particulières de ce processus. Nous reviendrons par la suite sur les travaux d'Eric Kandel.

---

<sup>6</sup> Gold, I. et Stoljar, D. (1997). Is there a science of the brain?, p.24.

# 1 Les thèses générales

## 1.1 La mémoire et les sciences cognitives

En présentant les résultats généraux des sciences cognitives sur la mémoire, nous n'aborderons pas les problématiques relatives aux limites respectives de ces différents processus : cette classification est classique mais les propriétés de ses entités sont encore discutées. Pour ces raisons, nous ne citerons qu'un chercheur et ne ferons référence à aucune recherche particulière.

La mémorisation est souvent divisée en trois processus distincts et nécessaires. Le premier est l'**encodage**. C'est la transformation de l'unité de codage du percept, c'est-à-dire de l'information perçue par un organe sensoriel, en unités permettant la formation et la construction de traces mnésiques. C'est un processus probablement associé à la perception.

Le deuxième est le processus d'**entreposage** ou de stockage. C'est l'ensemble des processus permettant la conservation et la consolidation des traces mnésiques. Lors de ces opérations, l'information pourrait être modifiée ou même, assez paradoxalement, rejetée. Il ne faut donc pas penser que cette étape est nécessairement passive ou que l'information est forcément conservée telle quelle.

Le dernier est le processus de **remémoration**, c'est-à-dire, l'ensemble des mécanismes permettant la récupération des traces mnésiques. Cette étape peut être séparée en

deux processus partiellement dépendants : le rappel et la sélection. Le **rappel** consiste en l'utilisation d'un indice particulier afin de spécifier l'information désirée. La **sélection** consiste à déterminer l'information recherchée parmi celles qui sont retrouvées par l'utilisation de l'indice mnésique. Un des facteurs importants concernant la qualité de la remémoration est la spécification de l'indice utilisé. Ainsi, un indice tel « rappelle-toi » ne donnera pas de résultat probant. Par contre, un indice plus spécifique tel que « auteur de l'*Apologie de Socrate* » a plus de chance d'obtenir une réponse précise. D'autres facteurs peuvent aussi influencer le rappel et la sélection comme, par exemple, les connaissances particulières du sujet qui tente de se remémorer. Ainsi, la réponse usuelle spontanée à l'exemple précédent sera probablement « Platon » pour le commun des mortels, alors qu'elle risque d'être « Xénophon » pour le spécialiste de ce dernier auteur.

Il est à noter que tous les processus mnésiques décrits sont relativement indépendants de la conscience. Ainsi, certaines informations peuvent être mémorisées et même rappelées sans que l'individu ait conscience de la mise en branle de ces processus.

L'étape d'entreposage est elle-même divisée en trois processus relativement distincts, suivant la durée pendant laquelle la trace mnésique est maintenue. Les chercheurs parlent généralement de trois formes de mémoire ou, abusivement peut-être, de trois mémoires : la mémoire sensorielle, la mémoire à court terme et la mémoire à long terme. Il existe finalement l'hypothèse d'une mémoire de travail qui semble de nature différente pour certains.

La **mémoire sensorielle** est celle qui assure la continuité spatiale et temporelle entre les différents stimuli reçus. Elle permet une « stabilisation » ou un « maintien » de l'information provenant continuellement aux sens. Il semble d'ailleurs qu'il y ait peu ou prou de transformation des éléments informationnels à ce niveau. Cette information est apparemment maintenue pendant environ 200 millisecondes, au maximum, lorsqu'il s'agit des stimuli visuels : c'est la **mémoire iconique**. En ce qui concerne les stimuli auditifs, le temps de maintien peut aller jusqu'à deux ou trois secondes : c'est la **mémoire échoïque**. Notons qu'il est possible que les autres sens aient un même genre de mémoire.

La **mémoire à court terme** est le processus permettant de maintenir pendant quelques secondes un nombre limité d'informations, environ sept unités, dont le rappel est extrêmement rapide en comparaison avec le rappel en mémoire à long terme. Quant à elle, la **mémoire à long terme** pourrait n'avoir aucune limite sur le nombre d'informations entreposées ou sur la durée de ce maintien. La question des liens entre la mémoire à long terme et la mémoire à court terme est cependant encore discutée. Certaines informations semblent devoir passer par la mémoire à court terme avant d'être emmagasinées par la mémoire à long terme alors que ce n'est pas le cas pour d'autres. Cela pourrait peut-être dépendre de la nature de l'information. La mémoire à long terme serait donc subordonnée à la mémoire à court terme sous certains aspects alors qu'elle en serait indépendante pour d'autres.

La mémoire à long terme se subdivise elle-même en plusieurs types de mémoire, selon les propriétés de l'information emmagasinée. Il y aurait ainsi une **mémoire procédurale** responsable de tout élément informationnel relatif aux mouvements corporels (jongler, par exemple). Il y aurait aussi une **mémoire déclarative** qui concerne l'information représentée verbalement. Cette mémoire déclarative contient elle-même une **mémoire épisodique**, portant sur les souvenirs personnels de l'individu (les anecdotes de vacance de l'année 1999, par exemple), et une **mémoire sémantique**, responsable de toute connaissance du langage et du monde physique (le souvenir du lieu où se sont déroulées les dites vacances, par exemple). Finalement, il pourrait y avoir une mémoire visuelle, se divisant elle-même en une mémoire de type autobiographique (ma maison, par exemple) et une mémoire générique (une maison en général, par exemple).

Le concept de **mémoire de travail** a été proposé par Alan Baddeley. Il conçoit cette mémoire comme un système permettant la rétention et la manipulation de l'information nécessaire à l'activité de certains processus cognitifs, tel la compréhension et le raisonnement. Elle permet la continuité des informations dans leurs multiples transformations. La mémoire de travail aurait une capacité minimale d'entreposage gérée par un centre exécutif. Qu'il y ait des liens entre cette mémoire et la mémoire à court terme est évident, mais ceux-ci demeurent difficiles à établir.

Parlons maintenant de la méthodologie utilisée par les sciences cognitives pour obtenir ces informations. Elle se fonde sur deux principes. Le premier principe est qu'il

n'y a que deux variables précises sur lesquelles peuvent s'établir l'existence et le fonctionnement d'une faculté cognitive. La première variable est le temps de réaction. Par exemple, lors d'un test de reconnaissance de photographies, une réponse de non reconnaissance est souvent plus lente à émettre qu'une réponse de reconnaissance positive car la réponse négative survient au terme d'une série d'analyses, lesquelles s'ajoutent aux processus de reconnaissance postulés, alors qu'une réponse positive ne nécessite que ces mécanismes.<sup>7</sup> La deuxième variable utilisée est l'analyse des erreurs induites expérimentalement. Par exemple, si un individu, dans un test de reconnaissance fait l'erreur de confondre une photographie d'une marguerite avec celle d'une rose, le chercheur tentera de déterminer les caractéristiques à partir desquelles se fait le rapprochement entre les deux photographies et ce qui peut en être déduit du processus cognitif étudié. Il est alors facile de comprendre qu'à partir de ces deux seules sources d'information, les chercheurs peuvent difficilement arriver à une certitude absolue quant à l'existence de tel ou tel mécanisme.

De plus, comme les chercheurs en sciences cognitives ne peuvent directement observer les facultés cognitives avec leurs méthodes de recherche, ils doivent postuler *a priori* ou *a posteriori* les processus cognitifs étudiés. Il y a donc forcément une part d'arbitraire dans l'interprétation des résultats empiriques obtenus. Cet arbitraire provient du fait qu'il peut y avoir des interactions entre les différentes capacités cognitives : le

---

<sup>7</sup> L'utilisation théorique du résultat des tests de temps de réaction suppose un fonctionnement séquentiel du système nerveux central, alors que les chercheurs savent pertinemment qu'il fonctionne à la fois de manière sérielle et parallèle.

phénomène observé est-il « pur » ou est-il la résultante d'une interaction de plusieurs mécanismes plus fondamentaux? Dans le cadre restreint des sciences cognitives, il est pratiquement impossible d'avoir une réponse sûre à cette question. Il est donc facile de comprendre que les facteurs humains peuvent influencer les jugements que peut avoir un chercheur en sciences cognitives, même s'il base son analyse sur des résultats empiriques solides.

Nous pouvons alors constater que le mécanisme d'entreposage est un élément nécessaire au processus de mémorisation : la mémorisation est impossible sans cette étape car elle s'avère essentielle pour toute information mémorisée, peu importe son type. De plus, ce processus est universel car il n'est pas limité par le genre d'organisme : il vaut autant pour les animaux invertébrés que pour les humains. Examinons maintenant les travaux du chercheur Eric Kandel portant sur les mécanismes neuraux de la mémoire. Nous ferons le lien entre son point de vue et celui des sciences cognitives à la fin du chapitre.

## **1.2 Le monisme matérialisme et déterministe**

Nous présentons maintenant les recherches de Kandel sur la mémoire, en insistant particulièrement sur leurs principes. Dès la première phrase du premier chapitre de son livre *Principles of neural science*, Kandel énonce clairement son premier principe, soit que tout processus cognitif provient uniquement de l'activité neurale :

*« The key philosophical theme of modern neural science is that all behavior is a reflection of brain function. According to this view - a view that*

*is held by most neurobiologists and that we shall try to document in the text - the mind represents a range of functions produced by the brain. The action of the brain underlies not only relatively simple behavior such as walking and smiling, but also elaborate affective and cognitive functions such as feeling, thinking, and writing poems. »<sup>8</sup>*

Selon Kandel, tout comportement provient de l'activité neurale. Il ne fait que l'énoncer sans le justifier. Il serait possible que ce soit si évident pour lui qu'il estime inutile toute justification. Il poursuit :

*« The brain is made up of individual units - the nerve cells and the glial cells. The task of the neural sciences is to explain how the brain marshalls these units to control behavior and how, in turn, an individual's brain is influenced by the behavior of others in terms of the functioning of the constituent cells. »<sup>9</sup>*

Ceci implique que tout comportement est non seulement le fruit d'une interaction neurale mais que cette dernière est susceptible d'être connue. L'auteur ne se préoccupe pas plus de démontrer cette affirmation que la première : peut-être que cela forme une simple hypothèse de travail. Ce n'est donc qu'à partir des propriétés neurales que les chercheurs peuvent expliquer tous les comportements.

Selon Suzan Allport, Kandel prône le monisme matérialiste.<sup>10</sup> Elle définit le monisme matérialiste comme étant la croyance qu'il n'y a qu'une seule substance, la matière, et qu'il est possible d'expliquer tout comportement et tout processus cognitif à partir de ses propriétés physiques et chimiques. Cependant, ce principe est un *modus operandi*, selon ses propres termes.

---

<sup>8</sup> Kandel, E.R. et Schwartz, J.H. (1981). Principles of neural sciences, p.3.

<sup>9</sup> Kandel, E.R. et Schwartz, J.H. (1981). Principles of neural sciences, p.3.

<sup>10</sup> Allport, S. (1986). Explorers of the black box, p.49.

D'un point de vue philosophique, nous caractériserons sommairement le **monisme** comme étant la doctrine selon laquelle les propriétés d'une seule substance peuvent expliquer l'ensemble du phénomène étudié. La matière est cette substance pour les chercheurs des sciences physiques.

Le **matérialisme** est la doctrine selon laquelle certaines propriétés observées ou déduites de l'objet d'étude peuvent être expliquées par la matière. Quelques propriétés de cet objet suivent les lois physiques et chimiques selon un schème causal.<sup>11</sup>

Le **déterminisme** est la doctrine selon laquelle tout événement résulte de ses conditions antérieures. Si les chercheurs décrivent bien tous les facteurs en jeu, il est alors possible d'en prédire le comportement.<sup>12</sup> En pratique, le déterminisme est le fait que chaque élément dépende de certaines propriétés de telle façon qu'il peut être prévu, produit ou empêché selon que le chercheur connaît, produit ou empêche ces propriétés initiales. Si les réactions de l'objet d'étude sont déterminées, cela implique que le comportement de cet objet peut être prédit à partir de la connaissance des conditions initiales de celui-ci et de la connaissance de son environnement.

Évidemment, il y a un lien entre ces trois doctrines : le monisme pose l'existence d'une seule substance ; le matérialisme énonce que cette substance est matérielle ; le déterminisme suggère que toute entité matérielle dépende uniquement de ses propres

---

<sup>11</sup> Armstrong, D.M. (1989). Mind-body problem : philosophical theories, p.491.

<sup>12</sup> Fetzer, J.H. et Almeder, R.F. (1993). Glossary of epistemology, p.38.

conditions matérielles. Appliqué à la philosophie de l'esprit, le monisme matérialiste et déterministe fait que les caractéristiques des facultés traditionnellement attribuées à l'esprit sont explicables par les propriétés de la matière.<sup>13</sup> Comme la majorité des chercheurs de toute science croit que le système nerveux central a un rapport avec les processus cognitifs, le but de ce monisme est d'expliquer les facultés cognitives à partir des propriétés des neurones dont est composé le système nerveux central. Finalement, bien qu'en pratique, il y ait des liens évidents entre elles, ces trois doctrines ne s'impliquent pas mutuellement et il est possible de développer diverses positions en adhérant à l'une d'elles, sans accepter les autres.

Ce monisme, appliqué aux sciences cognitives, implique que tous les processus cognitifs et tous les comportements ne peuvent fondamentalement être compris que par l'intermédiaire de la connaissance de leurs mécanismes neuraux, eux seuls pouvant être directement observés.<sup>14</sup> Ce principe doit cependant être défini plus précisément afin qu'il ait des conséquences concrètes dans la recherche. Premièrement, le monisme matérialiste et déterministe implique le fait que l'activité des processus cognitifs provienne de changements neuraux et que les mécanismes neuraux entraînent l'existence des processus cognitifs. Deuxièmement, il faut adjoindre à ce principe une autre prémisse pour que cette doctrine ait une influence pratique en neurosciences : tout changement neural doit

---

<sup>13</sup> Jacquette. D. (1994). *Philosophy of mind*. p.43.

<sup>14</sup> Du fait de la multiplicité pratiquement infinie des propriétés matérielles, il nous semble cependant difficile d'envisager que des aspects sociologiques puissent être étudiés de cette façon.

être identifiable, c'est-à-dire qu'il doit pouvoir s'observer empiriquement<sup>15</sup> Ces deux conditions deviennent fondamentales en neurosciences car elles permettent de légitimer la recherche dans cette discipline.

**Le monisme matérialiste et déterministe est le premier principe de recherche d'Eric Kandel.** C'est évidemment un principe ontologique qui repose sur des justifications méthodologiques : il est impensable par définition de mesurer l'effet que peut avoir une substance autre que matérielle sur des substrats matériels. Ce monisme est partagé par la majorité des chercheurs en sciences physiques : il est un des fondements de la recherche scientifique empirique et sa présence autorise l'existence des autres principes que nous citerons plus loin.

Pour étudier la mémoire, Kandel prône donc un monisme matérialiste et déterministe. Or, les concepts de mémoire et d'apprentissage ne reposent pas directement sur l'observation mais sur des inférences tirées de l'observation. En effet, nous ne pouvons constater la présence de la mémoire. Nous ne voyons que son impact sur le comportement. Le concept de mémoire est donc une inférence tirée de l'observation. Selon nous, cette double nature de la mémoire, à la fois observation et inférence, souligne qu'elle doit être fondamentalement analysée selon plusieurs traditions de recherche.

---

<sup>15</sup> Rose, S. (1992). The making of memory. p.321.

Nous pouvons redéfinir, pour l'analyse des processus mnésiques, ce principe de la manière suivante : un apprentissage crée un changement identifiable et localisable dans le système nerveux central. Deux approches sont impliquées dans cette démarche. La première est **constructive**. Elle tente de fonder un domaine de recherche sur des données directement vérifiables et quantifiables. Il y a donc une nouvelle définition des bases sur lesquelles doivent reposer les recherches. Cela provoque alors une discussion sur le type de données acceptables selon ces fondements. La seconde est **éliminatrice**. Toute propriété qui ne peut être définie selon cette démarche est proprement écartée. Elle ne fait plus partie de l'édifice théorique ; au mieux, elle ne doit être utilisée que comme une approximation.

### 1.3 L'apprentissage en tant qu'adaptation

Kandel définit l'**apprentissage** comme le procédé par lequel de nouvelles connaissances sont acquises. La **mémoire** est le processus permettant la rétention de ces connaissances sur une certaine période de temps.<sup>16</sup> Suzan Allport énonce que Kandel a une autre définition de l'apprentissage, soit la capacité de modification du comportement par l'expérience.<sup>17</sup> Ces définitions sont opérationnelles car elles sont directement tirées de l'observation de la modification du comportement suite à l'apparition d'un stimulus. De plus, ces définitions des mécanismes de rétention reposent sur des processus dynamiques plutôt que des formes passives.

---

<sup>16</sup> Kandel, E. R. et Hawkins, R.D. (1992). The biological basis of behavior, p.79.

<sup>17</sup> Allport, S. (1986). Explorers of the black box, p.85.

Remarquons que les deux définitions de l'apprentissage se différencient fondamentalement. La première définition peut être interprétée de manière fonctionnaliste. En effet, il est facile de se questionner sur l'origine ou le but de cette capacité d'apprentissage, ainsi que sa place par rapport aux autres systèmes : ceci peut laisser place à une interprétation téléologique de l'apprentissage. Cependant, nous ne retrouvons aucune autre trace de fonctionnalisme chez Kandel (et ce n'est pas faute d'avoir cherché). La seconde définition ne laisse cependant aucun espace pour une quelconque interprétation systémique, car l'apprentissage est défini comme une influence présente du comportement au même titre que l'environnement ou la génétique. Ici, l'apprentissage n'est pas défini selon un but quelconque et il ne peut pas être interprété de cette manière. Nous estimons donc que la première définition de l'apprentissage n'est qu'une simplification rhétorique malhabile de la seconde et n'a ainsi aucune conséquence ontologique sur sa démarche théorique.<sup>18</sup>

Cela ne veut surtout pas dire que le fonctionnalisme n'a pas de place dans l'étude des processus cognitifs. Il faut plutôt l'interpréter comme le fait que Kandel soit réticent à ce genre d'analyse, comme nous le verrons plus loin. La raison en est facile à saisir : il est difficile d'analyser le fonctionnalisme selon une démarche empirique stricte. La justification de ce rejet est méthodologique, bien qu'elle impose une limite ontologique. Nous discuterons d'ailleurs de la place du fonctionnalisme dans ce genre d'étude à la fin du Chapitre 3.

---

<sup>18</sup> Kandel utilise le mot « fonction » dans le sens de fonctionnement ou de fonctionner, c'est-à-dire qu'il désigne l'activité du processus cognitif ou du mécanisme neural.

La définition retenue de l'apprentissage implique qu'il faille observer un changement dans les réponses comportementales du sujet suite à la réception de stimuli environnementaux, afin de déduire l'existence d'une capacité mnésique. Les techniques scientifiques permettant ce genre de déduction sont essentiellement behavioristes.

Les techniques behavioristes représentent un cadre empirique permettant de détecter de manière normative un changement comportemental suite à une stimulation particulière. À partir d'une telle observation différentielle, le chercheur peut en attribuer la responsabilité à l'apprentissage ou à tout autre faculté étudiée. Il y a une forme très nette d'élimination à ce stade : tout processus cognitif ou tout comportement qui ne peut être étudié selon le schème des procédures behavioristes est à tout le moins négligé par les chercheurs en neurosciences qui les utilisent. Par contre, il y a aussi une forme de construction évidente car elle permet d'établir des données solides sur lesquelles le chercheur peut se baser pour tirer des inférences sur les différences comportementales qu'il observe.

La conception behavioriste de l'apprentissage décrit comment un stimulus est combiné un autre stimulus, durant une certaine période de temps, afin de modifier des comportements existants ou d'en créer de nouveaux : ces modèles expérimentaux de l'apprentissage sont les conditionnements.<sup>19</sup> Selon Kandel, les conditionnements possèdent trois caractéristiques : ils sont généraux, universels et standardisés. Ils sont généraux car ils définissent les conditions nécessaires et suffisantes pour déterminer la présence certaine d'un apprentissage particulier. Ils sont universels car ils s'observent chez

---

<sup>19</sup> Kandel, E.R. (1976). Cellular basis of behavior, p.495.

la plupart des organismes. Ils sont standardisés car ils sont très bien définis expérimentalement.

Kandel utilise trois formes de conditionnement : la sensibilisation, l'habituation et le conditionnement classique. L'**habituation** est la diminution graduelle de l'intensité d'une réponse comportementale suite à la présentation répétée d'un stimulus.<sup>20</sup> La **sensibilisation** est, au contraire, l'augmentation de l'intensité de la réponse suite à une exposition répétée à un stimulus.<sup>21</sup> Les phénomènes correspondants, mais parallèlement inversés, de « **déshabituation** » et de « **désensibilisation** » sont également étudiés. Ces apprentissages sont considérés comme non associatifs car il n'y a pas de nouveaux comportements acquis : il y a plutôt une variation dans l'intensité des comportements existants.

Le **conditionnement classique** est l'union d'un stimulus conditionnel à un stimulus inconditionnel pour produire un effet semblable. Par exemple, si le tintement d'une cloche précède à plusieurs reprises la présentation de sa nourriture à un chien, le son de la cloche provoquera chez l'animal une augmentation de la salivation comparable, mais pas identique, à la hausse de salivation due à la vue du repas lui-même. Le bruit a été associé à la vue du repas et entraîne donc une conséquence semblable, soit une salivation plus élevée. C'est un apprentissage associatif car il y a acquisition d'une nouvelle réponse comportementale suite à l'exposition à des stimuli particuliers. Dans cet exemple, il y a acquisition de la propriété de saliver suite au stimulus du tintement de la cloche.<sup>22</sup>

---

<sup>20</sup> Kandel, E.R. (1976). Cellular basis of behavior, p.518.

<sup>21</sup> Rose, S.P.R. (1992). The making of a memory, p.171.

<sup>22</sup> Kandel, E.R. (1976). Cellular basis of behavior, p.496.

Mentionnons également le **conditionnement opérant**. L'organisme apprend le lien entre un comportement et sa conséquence, positive ou négative, à la suite de l'obtention du résultat, positif ou négatif, de la production initiale de ce comportement.<sup>23</sup> Par exemple, plaçons un pigeon dans une cage et récompensons-le s'il adopte tel comportement : donnons-lui un grain de maïs s'il picore à tel endroit de la cage. Il aura alors une tendance accrue à répéter l'action. La première étape de cet apprentissage est la découverte fortuite du comportement récompensé. Par la suite, il y a apprentissage du lien entre l'exécution de ce comportement et sa récompense. C'est une forme d'apprentissage associatif, car il y a acquisition d'un nouveau comportement. Dans l'exemple, il y a apprentissage du lien entre le fait de recevoir un grain de maïs et le fait de picorer à tel endroit. Kandel ne semble pas avoir étudié ce type de conditionnement.

Notons que, comparativement aux trois autres techniques d'apprentissage, le conditionnement opérant est plus complexe car il nécessite l'activité première de l'animal. Cet apprentissage est souvent décrit selon l'intentionnalité de la reproduction du comportement. Kandel rejette ce genre d'interprétation et en donne un éclaircissement selon ses propres découvertes.<sup>24</sup> Cependant, son explication nous semble si peu convaincante, ou même intéressante pour notre propos, que nous ne la présentons pas. Bornons-nous simplement à constater que Kandel rejette le fonctionnalisme pour des raisons qui ne sont pas très concluantes. Retournons plutôt au conditionnement classique.

---

<sup>23</sup> Rose, S.P.R. (1992). *The making of memory*, p.147.

<sup>24</sup> Kandel, E.R. (1976). *Cellular basis of behavior*, p.506.

Les fondateurs du béhaviorisme pensaient que le seul lien temporel créait une association entre le stimulus conditionnel et inconditionnel. Bref, que l'association se faisait de manière statique. Or, Garcia a prouvé qu'il doit y avoir un lien de contiguïté (proximité) entre les deux stimuli.<sup>25</sup> De plus, les recherches de Rescola ont démontré que le stimulus conditionné doit avoir une valeur prédictive face au stimulus inconditionnel.<sup>26</sup> Finalement, suite aux recherches de Kamin, les chercheurs savent maintenant que l'animal possède des mécanismes permettant d'empêcher une association qui n'a aucune valeur prédictive pour lui.<sup>27</sup> Contrairement aux apparences, le conditionnement classique est donc un apprentissage dynamique : l'animal possède une certaine marge de manœuvre selon ses capacités et suivant le pouvoir adaptatif que le nouveau comportement lui procure.

Les travaux de Kandel ne portent pas sur le conditionnement. L'équipe de Kandel étudie plutôt l'apprentissage et la mémorisation. Or, comme nous l'avons signalé plus tôt, ces concepts ne sont pas directement observables. La modification du comportement est employée, dans l'expérience, comme preuve de l'influence du stimulus utilisé sur le comportement étudié mais n'a pas d'importance en soi. La technique du conditionnement sert de modèle expérimental précis et uniformisé afin de prouver qu'il existe bien un apprentissage et par la suite d'en découvrir les mécanismes de base. C'est un impératif méthodologique. Kandel affirme d'ailleurs que les méthodes d'apprentissage ne sont utilisées que parce qu'elles sont bien définies au plan méthodologique.<sup>28</sup>

---

<sup>25</sup> Allport, S. (1986). *Explorers of the black box*. p.102.

<sup>26</sup> Allport, S. (1986). *Explorers of the black box*. p.101-102.

<sup>27</sup> Allport, S. (1986). *Explorers of the black box*. p.103.

<sup>28</sup> Kandel, E.R. (1976). *Cellular basis of behavior*, p.495.

Une question demeure : d'un point de vue évolutif, quel est l'avantage d'avoir cette capacité mnésique? Cela permet d'adapter, dans certaines limites, l'organisme à son environnement : l'animal a une place dans la nature et sa capacité d'apprentissage lui permet de s'y adapter. Par l'entremise des apprentissages associatifs, l'animal peut ainsi saisir les relations causales entre les stimuli de l'environnement.<sup>29</sup> **La mémoire et l'apprentissage sont des facultés favorisant l'adaptation de l'organisme à son milieu. C'est le second principe méthodologique de Kandel est le fait que.**

Afin de découvrir plus facilement les mécanismes fondamentaux de l'apprentissage, Kandel étudie les caractéristiques de la mémorisation d'un animal qui a un système nerveux très simple.<sup>30</sup> Son but est de découvrir une forme universelle d'apprentissage générée par un mécanisme cellulaire universel<sup>31</sup> : « *For the Kandel group, the basic assumptions were that animals with nervous systems could be used to discover general mechanisms of learning and memory and that learned information was stored in specific circuits and cells.* »<sup>32</sup>

#### **1.4 L'alphabet élémentaire des comportements et des processus cognitifs**

Kandel définit le comportement comme tout processus observable servant de réponse aux changements perçus dans l'environnement interne ou externe de l'organisme.<sup>33</sup>

---

<sup>29</sup> Allport, S. (1986). Explorers of the black box, p.103-104.

<sup>30</sup> Kandel, E.R. (1979). Cellular insights into behavior and learning, p.35.

<sup>31</sup> Allport, S. (1986). Explorers of the black box, p.83-84.

<sup>32</sup> Allport, S. (1986). Explorers of the black box, p.92.

<sup>33</sup> Kandel, E.R. (1976). Cellular basis of behavior, p.32.

Le comportement est aussi catégorisé chez Kandel. Un comportement élémentaire est une réponse isolée d'un seul organe affecté, tel un réflexe ou un comportement fixe. Un comportement complexe est un ensemble des comportements élémentaires formant un tout, tel un ensemble ordonné de réflexes ou d'actions.<sup>34</sup> Il y a finalement un dernier type de comportement, le comportement de haut niveau, *higher-order behavior*, défini comme un processus où il y a une séquence comportementale déclenchant une seconde séquence et ainsi de suite.<sup>35</sup> Pour Kandel, un comportement est de bas niveau, *lower-order*, s'il est élémentaire. La classification du comportement est donc faite selon de la quantité de changements observés.

D'emblée, il serait facile de critiquer Kandel sur le fait que sa classification, bien qu'intuitivement séduisante, ne soit pas très opérationnelle : il est difficile de distinguer ce qui constitue un comportement élémentaire et ce qui constitue un comportement complexe. Par exemple, sur quelle base les chercheurs peuvent-ils se fier afin de différencier le comportement élémentaire de la levée du bras comparativement à son comportement complexe? Nous estimons cependant que ce à quoi réfère cette définition est intuitivement aisé à comprendre. Cette catégorisation pourrait avoir une valeur pragmatique.

Kandel suggère qu'il faille découvrir la localisation des éléments fondamentaux du comportement afin de retrouver ses propriétés essentielles.<sup>36</sup> Les comportements com-

---

<sup>34</sup> Kandel, E.R. (1976). Cellular basis of behavior, p.32-33.

<sup>35</sup> Kandel, E.R. (1976). Cellular basis of behavior, p.33.

<sup>36</sup> Kandel, E.R. et Schwartz, J.H. (1981). Principles of neural sciences, p.11.

plexes proviennent donc de combinaisons particulières d'un nombre limité de comportements élémentaires. Il semble donc que pour Kandel, il n'y ait pas d'effet de survenance ou d'émergence dans le système neural, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de propriété particulière à l'ensemble qui ne soit réductible, en dernière analyse, aux propriétés des neurones en particulier. Il n'y a aucune justification ontologique de cette prise de position : ce chercheur en neurosciences ne discute pas d'un effet de survenance possible ou même d'un effet d'interaction entre les différents mécanismes neuraux. Les mécanismes élémentaires existent et peuvent être découverts de manière « pure ». Kandel pose donc l'existence des mécanismes élémentaires sans y voir les difficultés inhérentes. Nous discuterons des limites de ce principe à la fin du troisième chapitre.

De la même manière qu'il classe les comportements, Kandel regroupe aussi les processus cognitifs en les qualifiant d'élémentaires ou de complexes. Comme les comportements, les processus cognitifs complexes proviennent de combinaisons particulières d'un nombre limité de processus cognitifs élémentaires. Nous proposons une formulation de ce principe : **les comportements et les processus cognitifs proviennent de l'interaction des comportements ou des processus cognitifs élémentaires. C'est le troisième principe utilisé par Kandel.** Tout comme les comportements, les processus cognitifs complexes seraient donc un genre de combinatoire de processus cognitifs élémentaires. Ce système serait une sorte d'alphabet cognitif où les processus cognitifs élémentaires seraient analogues aux lettres de l'alphabet. De la même manière, il y aurait aussi un alphabet comportemental. Ce serait donc le principe de l'alphabet cognitif et comportemental.

### 1.5 Les mécanismes neuraux élémentaires

Kandel énonce que chaque processus cognitif provienne d'une région ou d'une conjonction de régions du système nerveux central.<sup>37</sup> Les processus cognitifs élaborés sont donc le fruit d'interactions de plusieurs mécanismes neuraux qui peuvent se retrouver dans certaines régions très différentes les unes des autres.<sup>38</sup> Les comportements et les processus cognitifs sont donc entièrement descriptibles par des mécanismes neuraux, en vertu du monisme matérialiste et déterministe.

Ainsi, pour localiser le mécanisme neural d'un comportement ou d'un processus cognitif, il faut préciser son site (statique). Il faut aussi constater qu'il y a effectivement une activité dans cette région lorsque le comportement étudié est observé (dynamique). Il faut finalement caractériser le genre d'activité qui s'y déroule. Pour situer un mécanisme, la conjonction de trois méthodes est alors nécessaire. Premièrement, une méthode morphologique permet de déterminer statiquement la localisation de la région où se retrouverait le mécanisme observé. D'un point de vue pratique, le chercheur observe, par exemple, la localisation de lésions cérébrales et la manière qu'elles affectent le comportement du sujet. Deuxièmement, une méthode physiologique est utilisée afin de découvrir de façon dynamique l'activité de ce mécanisme. À ce niveau, le chercheur peut enregistrer l'activité électrique spécifique d'un neurone ou d'une région donnée et en découvrir l'activité. Il peut également analyser la consommation de certaines substances, le glucose par exemple, et en déduire l'activité de ce groupe de neurones : il se base sur le principe que lorsque la substance est absorbée, il y a une activité spécifique des mécanismes situés dans la région neurale où se fait l'absorption. La troisième méthode vise à déterminer le

---

<sup>37</sup> Kandel, E.R. et Schwartz, J.H. (1981). *Principles of neural sciences*, p.11.

<sup>38</sup> Kandel, E.R. et Schwartz, J.H. (1981). *Principles of neural sciences*, p.11.

type d'activité caractérisant le mécanisme observé : cette méthode est chimique. Le chercheur examine les neurotransmetteurs qu'envoient ou reçoivent les neurones du mécanisme. En somme, nous dirons que le mécanisme neural élémentaire d'un comportement est localisé dans un endroit particulier du système nerveux central si les trois observations qui suivent sont mesurées. En premier lieu, si une lésion spécifique située à cet endroit particulier entraîne la disparition du mécanisme. En deuxième lieu, s'il y a une activité électrique ou chimique observée dans cette même région spécifique lorsque le mécanisme est perçu au niveau comportemental. Et finalement, s'il y a des échanges de neurotransmetteurs particuliers dans cette région. Un mécanisme neural élémentaire doit ainsi être identifié de ces trois manières.

Évidemment, en adhérant à une telle notion de mécanisme, Kandel postule que les processus cognitifs de haut niveau proviennent d'interactions des mécanismes neuraux élémentaires. Contrairement à ce que pensaient les phrénologues, Kandel estime que le système nerveux central n'est pas composé de processus cognitifs élaborés, mais d'une série de mécanismes cognitifs élémentaires. Cela étant dit, il y a quand même une parenté idéologique entre les deux approches car elles se caractérisent toutes deux par la localisation spécifique dans le système nerveux central d'un processus cognitif. Kandel ne donne pas de définition formelle d'un mécanisme neural élémentaire mais il en donne plutôt des représentations approximatives et intuitives. Il écrit que le mécanisme neural élémentaire est un ensemble indivisible de mouvements. Ces mouvements seraient reliés entre eux selon leur rapport significatif à quelque chose d'extérieur à ces mouvements.<sup>39</sup> Cela sem-

---

<sup>39</sup> Kandel, E.R. (1976). *Cellular basis of behavior*, p.337.

ble donc être un mécanisme fondamental, se déroulant dans un nombre limité de neurones formant une unité simple, qui ne pourrait être ramené à tout autre mécanisme.<sup>40</sup> Les processus cognitifs sont donc des genres de combinatoire de mécanismes neuraux élémentaires. Il est cependant possible de toujours trouver un mécanisme encore plus élémentaire qu'un autre et ainsi de se buter aux lois de la physique quantique. Bien sûr, personne ne conteste que les éléments constitutifs du système nerveux central interagissent selon les lois de la physique. Cependant, ces lois valent pour toute entité, qu'elle fasse partie ou non d'un comportement.<sup>41</sup> Le mécanisme élémentaire perd alors sa spécificité. Selon nous, il serait souhaitable de ne pas arriver à ce genre d'extrémité, bien qu'il semble difficile, pour l'éviter, de trouver des critères nécessaires et suffisants, sans être arbitraires, afin de définir spécifiquement le concept de mécanisme élémentaire. Bien qu'imprécise, nous estimons que la compréhension intuitive de cette formulation est aisée. Une analyse analogue vaut aussi pour les comportements complexes. Ici, Kandel utilise explicitement la métaphore de l'alphabet cellulaire où tous les phénomènes observables du comportement et des capacités cognitives seraient la résultante d'interactions de ces différents mécanismes neuraux.

Kandel pourrait s'être inspiré des découvertes sur le code génétique. En effet, l'acide désoxyribonucléique (ADN) est composé de quatre bases, soit l'adénine (A), la thymine (T), la guanine (G) et la cytosine (C). Or, leur combinaison, selon certaines règles, régissent la formation des protéines : ces dernières président, selon d'autres règles, à

---

<sup>40</sup> Kandel, E.R. (1979). *Small systems of neurons*, p.67.

<sup>41</sup> Edelman, G.M. (1994). *Biologie de la conscience*, p.29.

la formation du corps de tout organisme vivant. Tout être vivant est donc formé à partir de combinaisons spécifiques de ces quatre éléments. Métaphoriquement, ces bases sont équivalentes aux lettres de l'alphabet : elles forment les mots, selon certaines règles, et les mots forment le langage, selon d'autres règles. Kandel croit qu'il existe un système analogue au code génétique dans le système nerveux central : il y aurait une série de mécanismes neuraux élémentaires qui formeraient, selon certaines règles précises, des comportements aussi complexes que l'écriture de poèmes ou l'apprentissage du tennis. Les mécanismes neuraux n'auraient alors entre eux aucune différence fondamentale : ils seraient formés par les mêmes éléments.

**Il n'y a pas de différence fondamentale entre les mécanismes neuraux élémentaires d'un comportement ou d'un processus cognitif du point de vue neurologique. Ils ne se distinguent que par leurs caractéristiques anatomiques, physiologiques et chimiques. C'est le quatrième principe de recherche de Kandel : ce principe fait le lien entre les comportements et les mécanismes neuraux, donc entre les recherches en sciences cognitives et en neurosciences. Il est fondé sur la constatation empirique qu'il n'y a pas de différence fondamentale entre les neurones situés dans les différentes parties du système nerveux central sinon par leurs caractéristiques anatomiques, physiologiques et chimiques. Ce principe est aussi soutenu par un autre principe déjà présenté, celui du monisme matérialiste et déterministe, car le chercheur ne peut évoquer d'autres propriétés que celles des neurones pour justifier une éventuelle différence entre les comportements et les processus cognitifs. C'est donc un principe subordonné au monisme.**

Pour rechercher les mécanismes élémentaires de l'apprentissage, Kandel étudie donc un petit groupe de neurones possédant cette capacité mnésique, afin de découvrir les causes de cette capacité dans ce système simple. Évidemment, le système nerveux central de l'homme est beaucoup trop complexe pour ce genre d'étude ; Kandel se tourne donc vers les animaux.

### 1.6 La similitude entre l'humain et l'animal

Pour Kandel, tous les animaux ont les mêmes besoins de base et les mêmes problèmes à résoudre. Il en ressort un principe biologique : du point de vue phylogénétique, divers organismes partagent des solutions similaires aux problèmes semblables. **Il y a continuité phylogénétique entre l'animal et l'homme grâce à une évolution physiologique. Certains mécanismes élémentaires sont donc similaires chez tous les animaux, l'humain n'étant qu'un animal parmi les autres. C'est le cinquième principe de recherche de Kandel.**<sup>42</sup>

Ce principe justifie l'application des résultats tirés des recherches animales sur la connaissance de la mémoire humaine. Kandel admet bien sûr que la nature peut offrir plusieurs solutions à un même problème<sup>43</sup> mais ce n'est pas le cas de la mémoire. « *It is my assumption [...] that some of the biological mechanisms of behavior and learning found in any animal are likely to exist in all animals.* »<sup>44</sup> Selon lui, il pourrait y avoir quelques

---

<sup>42</sup> Edelman a aussi un principe méthodologique semblable (voir Edelman, G.M. (1994). *Biologie de la conscience*, p.28.)

<sup>43</sup> Kandel, E.R. (1976). *Cellular basis of behavior*, p.29.

<sup>44</sup> Kandel, E.R. (1976). *Cellular basis of behavior*, p.39.

mécanismes neuraux élémentaires d'apprentissage. Parmi ceux-ci, certains sont universels car ils se retrouvent chez tous les animaux selon le principe de continuité phylogénétique. Nous reviendrons plus bas sur ces aspects. Il est noter que même si certains mécanismes élémentaires de l'apprentissage sont universels, leurs modalités peuvent changer selon les adaptations particulières de chacune des espèces.<sup>45</sup>

Il justifie la validité de son approche pour les mécanismes neurologiques par le fait que tous les neurones sont semblables d'une espèce à l'autre. Ainsi, lorsqu'il y a une comparaison entre les neurones des animaux et ceux des humains, les chercheurs constatent peu de différences entre eux : il y a plus de différences entre les divers types de neurones dans le même système neural qu'entre les neurones de systèmes nerveux provenant d'espèces différentes. Selon Kandel, bien qu'il y ait plus de mille types de neurones, les différences de fonctionnement que les chercheurs remarquent ne proviennent pas du fait qu'ils se distinguent morphologiquement : ces différences sont plutôt générées par le type de connexion que les neurones ont établi entre eux.<sup>46</sup> De plus, les principes de fonctionnement neurologique sont très similaires entre les animaux et les humains. Il est donc possible d'étudier un neurone chez l'animal et d'étendre leurs résultats à l'humain.<sup>47</sup> Pour Kandel, les mécanismes d'apprentissage sont conséquemment similaires chez tous les animaux, du plus simple au plus complexe à l'échelle phylogénétique.<sup>48</sup>

---

<sup>45</sup> Kandel, E.R. (1976). Cellular basis of behavior, p.40.

<sup>46</sup> Kandel, E.R. et Schwartz, J.H. (1981). Principal of neural sciences, p.14.

<sup>47</sup> Hubbel, D. (1979). The Brain, p.46.

<sup>48</sup> Kandel, E.R. et Schwartz, J.H. (1982). Molecular biology of learning, p.433.

Sa justification provient d'une comparaison empirique entre les neurones de l'animal et de l'humain. Cette dernière est légitimée par le premier principe cité plus haut, soit le monisme matérialiste et déterministe, car le chercheur ne peut évoquer d'autres propriétés que celles des neurones pour établir une éventuelle différence. En ce sens, ce cinquième principe est subordonné au principe moniste.

Kandel admet, par contre, qu'il est impossible de tout connaître du système nerveux d'un organisme capable de comportements complexes.<sup>49</sup> Ceci est une limite épistémologique des capacités de l'être humain et non métaphysique, portant sur une impossibilité de fait. Pour pallier cette limite, il faut se concentrer sur un système nerveux plus simple. Kandel avoue même que le tissu avec lequel il travaille n'a aucune importance. Seul importe sa propriété d'apprendre pour découvrir son fonctionnement de façon précise :

*« The neural structures only serves as a convenient biological system in which to investigate the effects of stimulus patterns that stimulate the stimulus and reinforcement patterns used in studies of behavioral modifications in intact animals. [...] Neural analogs represent only a first step towards establishing a relationship between plastic changes in neurons and behavioral modifications ; in these analogs the experimenter must look for changes in neuronal properties that resemble the changes in behavior that constitute learning. »<sup>50</sup>*

Comme il y a une continuité phylogénétique entre l'animal et l'homme, les chercheurs peuvent étudier l'animal et extrapoler leurs résultats à l'humain dans certaines limites. C'est la démarche d'Eric Kandel dans son étude de l'aplysie.

---

<sup>49</sup> Kandel, E.R. (1976). Cellular basis of behavior, p.38.

<sup>50</sup> Kandel, E.R. (1976). Cellular basis of behavior, p.496.

Kandel a en effet choisi de travailler sur le système nerveux de l'aplysie ou *aplysia californica*. L'aplysie est un mollusque hermaphrodite vivant sur le sol de la mer près des plages et se nourrissant d'algues. Il peut atteindre 30 centimètres de longueur et peser plusieurs kilogrammes. Son système nerveux est composé de 20 000 neurones. L'aplysie n'a pas de système nerveux centralisé en tant que tel, mais son système neural est composé de neuf ganglions. L'avantage d'utiliser l'aplysie en laboratoire est que certains de ses neurones sont très volumineux, soit près d'un millimètre de diamètre. Cela signifie que le chercheur peut suivre l'évolution de la même cellule dans son expérience.<sup>51</sup> En testant ainsi le même neurone, celui-ci peut porter attention aux aspects psychologiques (acquisition d'un nouveau comportement) et physiologiques (changements physiques causés par l'acquisition du nouveau comportement) au même moment.<sup>52</sup> Nous le répétons, l'aplysie en soi n'intéresse pas Kandel<sup>53</sup> ; son but est de trouver un exemple d'apprentissage et rapidement se concentrer sur les mécanismes cellulaires qui l'explique.<sup>54</sup>

Nous exposerons, dans les grandes lignes, les recherches de Kandel en ne soulignant que ce qui nous semble essentiel à la compréhension de l'analyse qui suivra.<sup>55</sup>

L'aplysie possède un organe respiratoire, les branchies, situé dans la cavité « abdominale ». Cette cavité est recouverte d'une couche protectrice, le manteau. Celui-ci se

---

<sup>51</sup> Rose, S. (1992). *The making of memory*, p.176.

<sup>52</sup> Allport, S. (1986). *Explorers of the black box*, p.116.

<sup>53</sup> Allport, S. (1986). *Explorers of the black box*, p.84.

<sup>54</sup> Allport, S. (1986). *Explorers of the black box*, p.121.

<sup>55</sup> Pour un exposé plus complet des théories prônées à l'époque par Kandel, nous référons le lecteur à Kandel, E.R. et Schwartz, J. H (1982). *Molecular biology of learning*.

termine en tuyau de chair appelé siphon. Lorsque le siphon est touché, les branchies se contractent. Le retrait des branchies suite à la stimulation du siphon est un réflexe de défense analogue, chez l'être humain, au fait de retirer sa main du feu.<sup>56</sup> Kandel a étudié le système neural du réflexe de retrait branchial.

Les cellules nerveuses qui participent à ce réflexe ont été identifiées. Ainsi, il y a vingt-quatre neurones sensoriels qui innervent le siphon et six neurones moteurs qui le contractent. En plus, six neurones ou « interneurones » servent d'intermédiaire entre les neurones moteurs et sensoriels dont cinq d'entre eux facilitent une excitation et un l'inhibition. Les neurones sensoriels transportant la stimulation tactile ont une connexion avec les interneurones et avec les neurones moteurs. Les neurones moteurs sont connectés avec les muscles des branchies qui produisent le retrait.<sup>57</sup>

Un neurone possède un corps cellulaire, appelé aussi soma ou noyau, où est situé le code génétique. Le corps cellulaire donne naissance aux dendrites, fines arborisations servant de récepteurs au neurone, et à l'axone, prolongement unique se terminant par des ramifications terminales servant d'émetteur. Lorsque les dendrites reçoivent les stimuli, il y a sommation ; si un certain seuil est atteint, il y a émission d'un stimulus qui sera transporté dans l'axone jusqu'aux ramifications terminales. Les neurones n'ont pas d'autres liens entre eux. À l'extrémité de chaque dendrite et de chacune des ramifications terminales, il y a des synapses. Celles-ci sont composées d'un élément présynaptique, appartenant

---

<sup>56</sup> Kandel, E.R. (1983). From metapsychology to molecular biology, p.1284.

<sup>57</sup> Kandel, E.R. (1983). From metapsychology to molecular biology, p.1284.

au premier neurone, d'un espace d'échange et d'un élément postsynaptique, faisant partie du second neurone. L'élément présynaptique émet un neurotransmetteur dans l'espace présynaptique qui est reçu par l'élément postsynaptique. Il peut y avoir des centaines de milliers de synapses sur un seul neurone. Le neurone, au repos, a une charge de -70 millivolts (-50 millivolts pour l'aplysie<sup>58</sup>), c'est-à-dire que le neurone est chargé négativement à l'intérieur et positivement à l'extérieur. Il y a plus d'ions positifs (sodium et potassium) à l'extérieur. Cette différence est entretenue par un mécanisme de pompes à sodium. L'élément de base de la transmission d'un stimulus est une brève impulsion électrique appelée potentiel d'action. Il s'agit d'une modification temporaire du potentiel de la membrane neurale survenant lorsque la membrane devient brutalement perméable aux ions de potassium et de calcium. Cette dépolarisation correspond au passage presque simultané de la charge négative de repos à une charge positive de +50 millivolts à l'intérieur du neurone. Au bout d'une milliseconde, l'équilibre ionique est restitué et le potentiel de repos est restauré. Le potentiel d'action est provoqué par la réception de stimuli jusqu'à la zone gâchette où il y a sommation des influx excitateurs et inhibiteurs. Si la somme dépasse un certain seuil critique, il y a alors création et propagation d'un potentiel d'action. C'est la loi du tout ou rien.<sup>59</sup> Les mécanismes et les propriétés décrites pour les neurones sont semblables pour l'aplysie.<sup>60</sup>

---

<sup>58</sup> Kandel, E.R. (1984). Steps toward a molecular grammar for learning, p.565.

<sup>59</sup> Habib, M. (1993). Bases neurologiques des comportements, p.9-16.

<sup>60</sup> Kandel, E.R. (1984). Steps toward a molecular grammar for learning, p.562-567.

L'équipe de Kandel a constaté que les cellules nerveuses sont identiques suivant les différents aphysies étudiés. Chacun des neurones présente une parfaite ressemblance dans ses propriétés, ses connexions et même dans sa nature excitatrice ou inhibitrice. Kandel considère que cette constance origine des particularismes génétiques et du développement cellulaire.<sup>61</sup> Il n'y a que la force des connexions qui soit sensible à l'environnement et aucun autre mécanisme théoriquement possible n'est acceptable dans les faits.

La sensibilisation est le phénomène par lequel un animal renforce l'apprentissage d'un réflexe de défense et répond plus vigoureusement à une variété de stimuli précédemment neutres après qu'il a été exposé à un stimulus menaçant.<sup>62</sup> Suite à la répétition de chocs électriques, la réponse de contraction des branchies de l'aplysie se fait avec plus virulence.<sup>63</sup> L'habituation est le mécanisme qui permet l'effet contraire, c'est-à-dire la diminution du réflexe de défense suite à l'exposition répétée à des stimuli.

Le conditionnement classique est le processus par lequel un stimulus neutre acquiert les propriétés d'un autre stimulus contingent. Dans le cas de l'aplysie, le chercheur présente une faible stimulation tactile sur le siphon (stimulus neutre), suivi du stimulus nocif, soit le choc électrique sur la queue (stimulus inconditionnel) ; il y a alors retrait vigoureux des branchies (réponse inconditionnelle). Si ce processus est répété un certain nombre de fois, la faible stimulation tactile provoquera une réaction semblable, soit le re-

---

<sup>61</sup> Kandel, E.R. (1979). Cellular insights into behavior and learning, p.29-35.

<sup>62</sup> Kandel, E.R. et Schwartz, J. H. (1982). Molecular biology of learning, p.434.

<sup>63</sup> Habib, M. (1993). Bases neurologiques des comportements, p.178.

trait vigoureux des branchies (réponse conditionnée).<sup>64</sup> Le retrait des branchies, suite à un faible toucher, est un nouveau comportement dans la gamme des comportements possibles. L'aplysie n'a appris que ce seul conditionnement classique.<sup>65</sup>

L'équipe de Kandel a ainsi pu étudier la sensibilisation et le conditionnement classique chez l'animal intact. Le terme « intact » est bien sûr une image stylistique puisqu'il y a, dans la méthodologie de l'expérience, isolation du neurone étudié à l'intérieur de l'aplysie. Nous reviendrons plus tard sur les effets de cette caractéristique. Kandel et ses collègues ont pu localiser l'endroit où se loge le changement provoqué par l'habituation, la sensibilisation et le conditionnement. Ce changement se retrouve sur l'élément présynaptique des ramifications terminales des neurones sensoriels.<sup>66</sup> C'est la découverte fondamentale de Kandel.

À l'intérieur de l'élément présynaptique, les chercheurs de l'équipe d'Eric Kandel ont découvert la présence de changements morphologiques comme l'augmentation de la superficie de la synapse et un changement dans la distribution des vésicules émettant les

---

<sup>64</sup> Carew, T.J., Hawkins, R.D. et Kandel, E.R. (1983). Differential classical conditioning of a defensive withdrawal reflex in *aplysia californica* ; Walters, E.T. et Byrne, J.H. (1983). Associative conditioning of single sensory neurons suggests a cellular mechanism for learning.

<sup>65</sup> Selon Sahley, cela serait peut-être dû au fait que dans l'échelle de l'évolution phylogénétique, l'aplysie serait de la même famille que l'escargot. Or, l'escargot fait une traînée de bave derrière lui, il est facile de le suivre et de l'attaquer par derrière. Le fait que la queue soit sensible à l'apprentissage pourrait donc constituer un avantage adaptatif. C'est du moins l'hypothèse éthologique qui expliquerait le mieux la présence de ce réflexe (Cité par Allport, S. (1986). *Explorers of the black box*, p.107.).

<sup>66</sup> Kandel, E.R. (1983). *From metapsychology to molecular biology*, p.1286.

neurotransmetteurs. Les chercheurs ont aussi remarqué qu'il y a, lors de l'apprentissage, une augmentation de la grandeur et de la zone d'influence des vésicules.<sup>67</sup> Ce changement est provoqué par la répétition d'un stimulus et procure à la réaction comportementale une réponse plus rapide : il facilite ainsi la réaction comportementale, d'où son nom de facilitation présynaptique.

Lors de l'apprentissage, la **facilitation présynaptique** est tout simplement l'élargissement des vésicules présynaptiques d'un neurone engendré par le fonctionnement répété de ce neurone suite à une série de stimulations semblables, permettant ainsi une augmentation de la diffusion de certains neurotransmetteurs aux endroits de contact avec le neurone moteur. Cette description est bien sûr sommaire mais nous l'estimons à tout la moins claire.

Tous les principes décrits plus hauts sont peu débattus en neurosciences, bien que le principe des mécanismes neuraux élémentaires soit un peu plus litigieux, mais c'est plutôt l'application qu'en fait Kandel, trop simpliste pour certains, qui est discutée que le principe comme tel.<sup>68</sup> Nous pensons, pour cette raison, que les thèses d'Eric Kandel sont partagées par la majorité des chercheurs en neurosciences et que c'est pour ce motif que Gold et Stoljar pensent que les thèses de ce chercheur sont représentatives des travaux en neurosciences.

---

<sup>67</sup> Kandel, E.R. (1983). From metapsychology to molecular biology, p.1286-1287.

<sup>68</sup> Voir par exemple Rose, S.P.R. (1992). The making of memory, p.224-227.

À notre connaissance, personne ne conteste sérieusement la légitimité du mécanisme de facilitation présynaptique non plus. Ces résultats ont été reproduits et tous s'accordent pour reconnaître que ce mécanisme est fondamental dans les processus mnésiques. Ce qui distingue fondamentalement Kandel, c'est la place qu'il accorde à ce phénomène dans son approche théorique.

## 2 Principes radicaux de Kandel

### 2.1 Le réductionnisme de Kandel

Comme nous le verrons, le réductionnisme est très important pour les chercheurs en neurosciences. Par contre, ils lui donnent des significations particulières, différentes de la définition donnée par les philosophes et que nous exposerons au Chapitre 2. Nous présentons maintenant les définitions du réductionnisme en neurosciences pour éclairer les autres principes utilisés par Kandel.

Kandel se dit réductionniste depuis le début de sa carrière de chercheur.<sup>69</sup> Il définit le réductionnisme comme étant la réduction de la complexité de l'objet d'étude à ses éléments les plus fondamentaux.<sup>70</sup> Il écrit d'ailleurs que l'approche réductionniste a été appliquée avec succès à la compréhension de plusieurs mécanismes biologiques (contraction musculaire, code génétique, synthèse de protéines, etc.) mais qu'elle n'est pas encore totalement acceptée pour les recherches sur l'apprentissage et la mémoire.<sup>71</sup> Il veut donc utiliser un système neural très simple mais qui possède toutefois les composantes fonda-

---

<sup>69</sup> Kandel, E.R. (1979). *Cellular insights into behavior and learning*, p.25.

<sup>70</sup> Kandel, E.R. (1979). *Cellular insights into behavior and learning*, p.22.

<sup>71</sup> Kandel, E.R. et Schwartz, J.H. (1982). *Molecular biology of learning*, p.441.

mentales de l'apprentissage et l'analyser selon son approche. Nous soulignons que le terme « composantes » est au pluriel ; nous y reviendrons plus tard. C'est ce que nous appellerons le réductionnisme méthodologique.

Le **réductionnisme méthodologique** est une réduction au sens numérique du terme : retrancher les facteurs secondaires de l'objet d'étude pour en découvrir les facteurs fondamentaux. Ce que Kandel appelle réductionnisme méthodologique est donc une méthode de travail consistant à dégager les variables fondamentales de l'objet d'étude afin de les manipuler pour voir leurs effets différentiels. C'est en quelque sorte une simplification. Comme nous pourrons plus tard le constater, le réductionnisme méthodologique défini par Kandel n'est pas un réductionnisme au sens philosophique du terme car il ne met pas en relation deux théories distinctes.

Eric Kandel identifie le réductionnisme en neurosciences à la perspective de la connexion cellulaire. Cette perspective repose sur trois postulats. Le premier énonce que tous les neurones ne sont pas identiques entre eux. Chacun d'eux établit des connexions spécifiques avec ses congénères. Le deuxième postulat affirme que le comportement est généré par l'activité de neurones spécifiques connectés entre eux de manière appropriée. Le dernier postulat propose que l'apprentissage résulte de changements dans les connexions entre les cellules nerveuses. Ces changements sont de deux ordres. Le premier est homosynaptique. C'est un changement dans les connexions causé par le fonctionnement même de l'activité de la cellule. Cela pourrait, par exemple, être le vieillissement normal du neurone. Le second est hétérosynaptique. C'est le changement dans les connexions d'une cellule nerveuse résultant de l'activité d'un ou de plusieurs autres neurones

auquel il est associé.<sup>72</sup> La facilitation présynaptique en est un exemple. Ce changement pourrait se situer dans le nombre de connexions, dans leurs forces respectives ou même dans la combinaison de ces deux possibilités.

Pour Kandel, les neurones peuvent être uniques et avoir des propriétés distinctes mais ils sont invariants pour tous les membres d'une espèce.<sup>73</sup> Selon Kandel, les connexions entre les neurones sont précises, constantes et invariables. Cette constance ne s'applique pas seulement aux connexions mais à la nature de celles-ci, inhibitrice ou excitatrice. Le comportement serait généré par l'activité des mêmes cellules connectées de manière constante.<sup>74</sup> Cette conclusion est tirée d'une induction à partir d'un nombre limité d'observations tirées principalement des recherches sur l'aplysie. Par le principe de continuité phylogénétique, Kandel l'applique à l'ensemble des espèces animales.

Revenons à la mémoire. L'apprentissage provoque un changement hétérosynaptique dans la sensibilité des connexions de cellules spécifiques.<sup>75</sup> La génétique et le développement déterminent les propriétés des neurones et de leurs connexions mais ne contrôlent pas la force des liens entre eux. Par l'entremise de la capacité d'apprentissage, c'est l'environnement qui module la force de ces liens. Les gènes caractérisent les propriétés de l'apprentissage et l'environnement définit l'objet d'apprentissage. Gardons cette conclusion en mémoire.

---

<sup>72</sup> Kandel, E.R. (1979). Cellular insights into behavior and learning, p.25.

<sup>73</sup> Kandel, E.R. (1979). Cellular insights into behavior and learning, p.29.

<sup>74</sup> Kandel, E.R. (1979). Cellular insights into behavior and learning, p.35.

<sup>75</sup> Kandel, E.R. (1979). Cellular insights into behavior and learning, p.39.

Rose ajoute à la réduction méthodologique, la réduction philosophique. Rappelons que la réduction méthodologique est le fait de réduire le nombre des composantes d'un phénomène complexe à ses composantes fondamentales. Le **réductionnisme philosophique** serait le fait de soutenir qu'un phénomène réel, c'est-à-dire un phénomène observé hors du laboratoire, n'est influencé que par une seule variable : son partisan croit que le phénomène n'a qu'une seule propriété fondamentale. C'est le réductionnisme radical.<sup>76</sup>

Dans sa conception du réductionnisme méthodologique citée plus haut, Kandel énonce clairement qu'il peut exister plusieurs facteurs fondamentaux du phénomène étudié. Assez curieusement, les chercheurs en neurosciences ont interprété le réductionnisme de Kandel différemment. Rose qualifie l'approche utilisée par Kandel de réductionniste tant au plan méthodologique qu'au plan philosophique : il serait un réductionniste radical.<sup>77</sup> Ainsi, selon Rose, Eric Kandel tente d'expliquer le processus d'apprentissage à l'aide d'une seule propriété, malgré ce qu'affirme Kandel.

La différence entre les deux définitions porte sur le nombre de facteurs fondamentaux : dans le cas du réductionnisme philosophique, il n'y en a qu'un seul ; dans le cas du réductionnisme méthodologique, il y en a plusieurs. Il n'y a donc pas de différence ontologique entre les deux : c'est en ce sens que ces définitions ne sont pas très intéressantes pour les philosophes. Cela démontre clairement, cependant, que Kandel tente de

---

<sup>76</sup> Notons qu'il est à tout le moins étrange de baser une définition du réductionnisme philosophique sur un critère de nombre (un ou plusieurs) plutôt que sur la nature des éléments en jeu : ce n'est donc pas cette définition du réductionnisme non plus que nous retiendrons au Chapitre 2.

<sup>77</sup> Rose, S.P.R. (1992). *The making of memory*, p.215.

réduire l'apprentissage à un seul mécanisme, selon Rose. Par contre, une approche expérimentale matérialiste peut, selon les chercheurs en neurosciences, expliquer l'apprentissage sans que l'utilisation d'autres types d'influence ne soit nécessaire. Il n'y a donc aucune remise en question du principe moniste.

## **2.2 Rejet du changement dynamique**

Kandel explique le processus d'apprentissage non pas comme la création de nouvelles entités (une entité pouvant être un lien entre neurones ou un neurone lui-même) mais bien par la modification d'entités préexistantes. Il discute de deux possibilités, soit l'hypothèse du changement neural dynamique ou celle du changement neural plastique. La première prétend que les neurones peuvent, à cause de leur mode de connexion, se stimuler eux-mêmes, ou « s'autostimuler », afin de conserver l'information, à l'image de la boucle de réverbération. Donald Hebb a proposé un tel système où un neurone peut stimuler deux autres neurones, le deuxième et le troisième. Le deuxième neurone stimule un neurone tiers et le troisième retourne stimuler le premier neurone. Certains chercheurs ont d'ailleurs découvert que de telles boucles neurales n'étaient pas rares dans le système nerveux central. Ce qui demeure incertain, cependant, c'est leur mode de fonctionnement. Grâce à sa forme, le système nerveux central pourrait retenir l'information sans subir de changement plastique.

Kandel rejette l'hypothèse du changement dynamique pour deux raisons. La première est l'existence des boucles inhibitrices, c'est-à-dire que certains neurones excités ont un effet inhibiteur sur le neurone qui les a excités, ce qui rend plus difficile la rétention de l'information. Cette première justification est intuitivement peu intéressante car nous

avons l'impression de ne pas conserver toute l'information perçue. Par exemple, il y a peu de chances que nous puissions nous rappeler la couleur du pantalon d'une personne croisée il y a trois semaines. L'existence de mécanismes permettant le rejet de certaines informations est possible et les boucles inhibitrices pourraient jouer ce rôle. Par ailleurs, l'existence de telles boucles inhibitrices n'a aucune influence sur l'existence ou non de boucles de réverbération : il est concevable que les deux types de boucle se côtoient parallèlement.

La seconde raison évoquée pour rejeter l'hypothèse du changement dynamique est que si le système nerveux subit une lésion ou un dysfonctionnement quelconque, cela devrait causer une perte ou à tout le moins une modification des souvenirs. Cela ne serait pas observé : les souvenirs resteraient inchangés après une lésion.<sup>78</sup> Ce deuxième argument est plus intéressant mais tout aussi discutable. Il est envisageable de croire que nos souvenirs ne se conservent pas en tant que tel mais se modifient. Selon les recherches en sciences cognitives, c'est un phénomène connu que le contexte de rappel influence la réponse de l'individu. Par exemple, la reconnaissance d'une personne sera plus efficace si l'observateur la voit avec les mêmes vêtements, dans un même environnement.<sup>79</sup> Un témoin d'un crime pourrait ainsi incriminer une personne innocente sur le fait qu'elle porte des vêtements semblables dans un contexte analogue, lors du rappel.<sup>80</sup> Il est possible que les souvenirs soient dynamiques plutôt que passifs. La sensation de conservation des souvenirs pourrait être due au fait qu'il y ait plusieurs rétentions ; par conséquent, il existe

---

<sup>78</sup> Kandel, E.R. (1976). *Cellular basis of behavior*, p.478-479.

<sup>79</sup> Thomson, D.M., Robertson, S.L. et Vogt, R. (1982) et cité par Baddeley, A. (1990). *Human memory*, p.286-287.

<sup>80</sup> Pour plus d'informations à ce sujet, nous vous suggérons le livre de Rosenfield, I. (1994). *L'invention de la mémoire*.

plusieurs boucles avec le même type d'information se renforçant entre elles. Par exemple, comme la date de notre anniversaire de naissance nous a été rappelée dans plusieurs contextes très différents les uns des autres, il serait possible que ce souvenir ne se modifie pas car il reste lié à plusieurs contextes indépendants. De la même manière, une lésion pourrait modifier certaines boucles de réverbération mais pas toutes, ce qui pourrait expliquer que les traumatisés conservent certains souvenirs après une lésion cérébrale. Kandel reconnaît lui-même qu'il y a beaucoup de redondance dans le système nerveux central.<sup>81</sup> Ici, peu importe si notre suggestion se vérifie ou non, son seul but est de démontrer que les raisons du rejet de l'hypothèse dynamique sont discutables.

D'une part, Kandel recherche un mécanisme d'apprentissage universel. D'autre part, ce système de boucles n'est pas présent chez l'aplasie. Comme l'aplasie apprend, il peut être conclu que l'existence de ces boucles n'est pas nécessaire pour apprendre. Il y a donc rejet de l'hypothèse de l'apprentissage par des boucles. Bien qu'elles ne soient pas nécessaires pour l'apprentissage chez l'aplasie, elles pourraient être présentes chez d'autres organismes en tant que mécanisme d'apprentissage additionnel ou complémentaire au mécanisme universel. Kandel n'envisage pas la possibilité de l'existence de plusieurs mécanismes élémentaires à ce niveau.

Par ailleurs, Kandel ne considère les théories connectionistes qu'en 1991<sup>82</sup> alors que leur présentation a débuté en 1981.<sup>83</sup> Le modèle connectioniste repose sur deux prin-

---

<sup>81</sup> Kandel, E.R. (1976). *Cellular basis of behavior*, p.602.

<sup>82</sup> Kandel, E.R., Schwartz, J.H., et Jessel, T.M. (1991). *Principles of neural sciences* (3<sup>e</sup> éd.), p.32.

<sup>83</sup> MacLelland, J.L. et Rumelhart, D.E. (1981). An interactive activation model of the effect of context in letter appreciation.

cipes. D'une part, les liens entre les entités se modifient selon l'information qu'elles reçoivent (changement plastique). D'autre part, un lien particulier n'est pas significatif en soi, c'est l'ensemble des liens du système qui permet d'apprendre de manière globale (changement dynamique). Bien que décrit de manière très schématique, ce modèle s'inspire des caractéristiques des neurones. Kandel rejette le principe d'équipotence des neurones lorsqu'il discute des thèses de Lashley,<sup>84</sup> ce principe étant à la base des théories connectionnistes. Nous ne croyons pas faire une inférence très audacieuse en suggérant que Kandel aurait aussi rejeté le connectionisme au milieu des années quatre-vingt : nous croyons que ce rejet serait sûrement fait sur la base des mêmes prétentions que celles évoquées pour les boucles de réverbération. Nous voyons d'ailleurs mal quelle pourrait être la place du connectionisme par rapport aux principes de Kandel, sans les changer fondamentalement. Cette solution ne sera envisagée par Kandel qu'à partir de 1991, c'est-à-dire après que ses prétentions radicales ont été mises en doute, comme nous le verrons plus loin. C'est un bon exemple de modification *a posteriori* faite par Kandel dont la cohérence avec ses travaux antérieurs s'avère difficile à établir.

Kandel opte donc pour la seconde hypothèse, celle du changement plastique.<sup>85</sup> Selon cette hypothèse, comme les liens entre les neurones sont prédéterminés, c'est la sensibilité (force) des liens, par leur malléabilité, qui produit l'apprentissage ; certains liens seront renforcés et d'autres inhibés. Le programme de recherche de Kandel est d'étudier le mécanisme par lequel l'apprentissage modifie la sensibilité des liens entre les neurones dans la perspective de la connexion cellulaire.

---

<sup>84</sup> Kandel, E.R. (1979). Cellular insights into behavior and learning, p.24-25.

<sup>85</sup> Kandel, E.R. (1976). Cellular basis of behavior, p.476-536.

### 2.3 Isolation de la facilitation présynaptique

Kandel et son équipe ont complètement isolé expérimentalement un système neural dans une culture appropriée.<sup>86</sup> Le système est composé d'un neurone sensoriel et d'un neurone moteur, lesquels n'ont qu'un contact entre eux sans être reliés avec le reste du corps de l'aplysie. Il constate alors des résultats expérimentaux *in vitro* semblables à ceux observés *in vivo* lorsque les récepteurs du neurone sensoriel sont stimulés de manière appropriée. Ce système à deux neurones est capable d'apprendre. D'ailleurs, Rayport et Schacher, des collaborateurs de Kandel, avaient déjà fait une expérience semblable à la différence qu'ils avaient ajouté l'interneurone dans la culture : les résultats étaient comparables.<sup>87</sup>

Kandel a aussi isolé un neurone sensoriel dans une culture et a mis ses synapses en présence de sérotonine. Il a constaté que ce neurone isolé ne développait pas les signes démontrant l'apprentissage.<sup>88</sup> Un neurone sensoriel seul ne peut donc apprendre, il faut qu'il soit nécessairement en conjonction avec un neurone moteur. Kandel a donc constaté que le nombre minimal de neurones présents dans un système apte à l'apprentissage est deux : il en conclut qu'un système de deux neurones est nécessaire et suffisant pour démontrer la facilitation présynaptique. Un neurone sensoriel et un neurone moteur seraient donc nécessaires et suffisants pour avoir la capacité d'apprentissage.

---

<sup>86</sup> Glanzman, D.L., Kandel, E.R. et Schacher, S. (1990). Target-dependent structural changes accompanying long-term synaptic facilitation in aplysia neurons.

<sup>87</sup> Rayport, S.G. et Schacher, S. (1986). Synaptic plasticity *in vitro*, p.761.

<sup>88</sup> Glanzman, D.L., Kandel, E.R. et Schacher, S. (1990). Target-dependent structural changes accompanying long-term synaptic facilitation in aplysia neurons.

Selon Fishbach,<sup>89</sup> l'explication fondamentale de tout processus cognitif doit utiliser les caractéristiques des gènes ou de l'expérience. Il est alors nécessaire de faire intervenir des propriétés génétiques afin d'expliquer le fait que le système nerveux central soit justement influencé par l'expérience et l'environnement : l'apprentissage semble alors être un des intermédiaires entre l'environnement et la génétique.

Toute cellule contient les gènes de toutes les cellules du corps. Il y a spécialisation des cellules parce qu'il y a activation ou inhibition de différentes parties du code génétique. Il en résulte chez les cellules, l'inaction de la majorité des gènes : quelques-uns sont ainsi ouverts et disponibles pour la retranscription. En effet, seulement trois pour cent du code génétique est utilisé par la cellule. Il y aurait alors quatre-vingt-dix-sept pour cent du code génétique potentiellement disponible pour ce genre de transcription. Or, l'apprentissage produit des changements momentanés dans la structure et les propriétés des synapses en plus des changements permanents. L'équipe de Kandel a proposé que l'apprentissage provoque dans les gènes des altérations persistantes et maintenues par elles-mêmes, ou « automaintenues ».

L'apprentissage se ferait donc par une modification transitoire du code génétique pour la mémoire à court terme. Il se ferait par une modification permanente pour la mémoire à long terme.<sup>90</sup> Les gènes manipulant les propriétés synaptiques régulariseraient

---

<sup>89</sup> Fishbach, G.D. (1992). *Mind and brain*. p.48.

<sup>90</sup> Cette dernière hypothèse suggère l'apparition de nouvelles protéines pour la mémoire à long terme : à la limite, il pourrait y avoir des protéines qui contiennent les modifications génétiques provoquées par l'apprentissage. Nous ne sommes évidemment pas très loin des molécules de mémoire.

l'expérience.<sup>91</sup> Les gènes responsables de l'activité présynaptique seraient ainsi responsables de la propriété de l'apprentissage.

Pour Kandel, les neurones, et surtout leurs connexions, proviennent des gènes et du développement cellulaire. Les connexions sont entièrement déterminées par les règles du développement et de la génétique : leur rôle est de réagir à l'environnement. Selon Kandel, cet ensemble de caractéristiques est universel, c'est-à-dire qu'il s'applique autant aux animaux vertébrés qu'invertébrés.<sup>92</sup> À l'appui de cette thèse, il cite, en plus des siens, les travaux de Sperry sur la latéralisation hémisphérique et les travaux de Hubbel et Wiesel sur le système visuel.<sup>93</sup>

Il n'y a donc qu'un seul mode d'apprentissage : la modification de la force des connexions neurales. Il semble aussi qu'il n'y ait qu'un seul mécanisme, la facilitation présynaptique, qui permette cette transformation des forces de connexions. La facilitation présynaptique est donc le mécanisme élémentaire de l'apprentissage. Or, comme nous l'avons déjà souligné, il y aurait, selon Kandel, plusieurs mécanismes élémentaires soutenant l'apprentissage. Cependant, dans les faits, Kandel ne laisse place qu'à un seul mécanisme, le sien. La seule manière d'apprendre est la modification du code génétique contrôlant les propriétés présynaptiques des connexions entre les neurones.

---

<sup>91</sup> Kandel, E.R. (1983). From metapsychology to molecular biology, p.1284.

<sup>92</sup> Kandel, E.R. (1976). Cellular basis of behavior, p.476.

<sup>93</sup> Kandel, E.R. (1976). Cellular basis of behavior, p.419-475 et p.602.

Bien que Kandel n'affirme pas explicitement qu'il n'y ait qu'un seul mécanisme d'apprentissage, il ne présente aucun autre mécanisme pouvant agir en interaction ou de manière indépendante avec la facilitation présynaptique. Il ne laisse aucune place non plus à une telle possibilité. C'est sûrement pour cette raison que Rose affirme que Kandel est un réductionniste radical et qu'il réduirait ainsi l'apprentissage à un seul facteur. La prudence avouée serait donc pour la forme. L'affirmation selon laquelle il existerait une pluralité de mécanismes possibles d'apprentissage n'est donc pas retenue en pratique.

La facilitation présynaptique serait le seul mécanisme d'apprentissage. Nous pouvons affirmer que Kandel croyait, à cette époque, que le fait d'apprendre la métaphysique d'Aristote, d'apprendre à jouer au badminton ou d'enregistrer les éléments autobiographiques de sa vie ne dépendait que de la facilitation présynaptique. Par conséquent, cette analyse débouche sur les principes de recherche spécifiques à Kandel, ceux qui sont qualifiés de radicaux.

Cinq principes radicaux sont utilisés par Kandel dans ses recherches. Le premier est que les mécanismes de l'apprentissage ne sont pas distribués dans le système nerveux central : ils sont plutôt localisés dans l'activité de cellules nerveuses spécifiques. Le deuxième est que, dans ces cellules, l'apprentissage provient de la modification des propriétés des connexions neurales. Le troisième stipule que l'apprentissage provient de la modification de la force des connexions préexistantes. Le quatrième affirme que les modifications de la force des connexions sont déterminées par les mécanismes qui gèrent les neurotransmetteurs. Finalement, les éléments fondamentaux de l'apprentissage, représen-

tés par l'addition de plusieurs facilitations présynaptiques, sont combinés pour constituer des mécanismes plus complexes.<sup>94</sup>

**Nous pourrions alors résumer ces principes radicaux par la formule : toute opération mnésique peut être représentée par une série de mécanismes neuraux élémentaires qui relèvent, en dernière analyse, de la facilitation présynaptique. Il n'y aurait donc que la facilitation présynaptique dans l'alphabet cellulaire de l'apprentissage.**

#### **2.4 Critique de la conception du mécanisme unique de l'apprentissage**

Notons que Kandel ne discute pas ce déterminisme des connexions, il ne fait que le découvrir et énoncer son universalité, par le principe de continuité phylogénétique.<sup>95</sup> Or, les chercheurs savaient à l'époque, grâce aux travaux de Hirsch et Spinelli, publiés en 1971,<sup>96</sup> que l'environnement a une très grande influence sur la nature et la densité des liens établis entre les neurones (le nombre moyen de connexions par neurone) durant le développement du système nerveux central. Ainsi, les chats privés de stimuli visuels durant leur croissance ont des connexions cérébrales en moins grand nombre que ceux qui ne le sont pas. Il est dommage que Kandel ne discute pas de cette recherche car cela rend ses prémisses incertaines.

---

<sup>94</sup> Kandel, E.R. (1984). Steps toward a molecular grammar for learning, p.561.

<sup>95</sup> Kandel, E.R. (1979). Cellular insights into behavior and learning, p.34.

<sup>96</sup> Étude classique rapportée par Carlson, N.R. (1986). Physiology of behavior, p.217.

D'ailleurs, Chen et Bailey, collaborateurs de l'équipe de Kandel, ont publié un article en 1991 où ils soutiennent qu'il y a aussi une augmentation du nombre de synapses lors de l'apprentissage en mémoire à long terme.<sup>97</sup> Il y a donc des changements transitoires ou permanents dans la morphologie du neurone, c'est-à-dire dans le nombre de synapses chez le neurone sensoriel.<sup>98</sup> S'il y a une augmentation du nombre de synapses, il y a hausse du nombre de connexions. Le nombre de connexions est ainsi sensible à l'expérience, du moins à un certain niveau. De plus, il pourrait même y avoir le développement de nouveaux neurones, comme l'ont démontré tout récemment Gerd Kempermann et Fred H. Gage.<sup>99</sup>

Par ailleurs, lorsque les chercheurs regardent le développement neural de l'aplysie, ils constatent que la sensibilisation est observée à un stade beaucoup plus tardif que l'habituation. De plus, lors de la première détection de la sensibilisation, les observations font état de variations dans la sensibilité selon la force du stimulus, suggérant que les mécanismes ne soient pas encore matures. Or, si pour apprendre deux neurones suffisent, il serait étrange qu'une forme particulière d'apprentissage, telle la sensibilisation, exige un plus grand nombre de neurones qu'une autre forme d'apprentissage. Carew pense qu'il doit y avoir maturation des mécanismes de facilitation et d'inhibition, ce qui fait que la

---

<sup>97</sup> Bailey, C.H. et Chen, M. (1990). Morphological alterations at identified sensory neuron synapses during long-term sensitization in aplysia.

<sup>98</sup> Bailey, C.H. et Kandel, E.R. (1995). Molecular and structural mechanisms underlying long-term memory, p.27.

<sup>99</sup> Kempermann, G.T. et Gage, F.H. (1999). New nerve cells for the adult brain.

compréhension des mécanismes neuraux est plus complexe que ce que Kandel ne laisse supposer.<sup>100</sup>

Finalement, à cause de sa méthode d'isolation des neurones étudiés, Kandel travaille avec un système très simplifié. Or, lorsqu'un chercheur observe le système nerveux « réel » (ou semi-isolé dans ce cas-ci), il constate que le contrôle de la force du réflexe n'est pas exercé par un seul neurone, mais que cette force est une propriété des interactions entre un ensemble de neurones formant un système. Il y aurait ainsi un mécanisme central (celui étudié par Kandel) et ce mécanisme périphérique. Produire un apprentissage dans des conditions normales exigerait alors au moins deux mécanismes ; aucun d'entre eux ne serait suffisant à lui seul.<sup>101</sup>

Ces critiques donnent une image de l'apprentissage comme étant une pluralité de mécanismes élémentaires mis en jeu de manière complexe. La mémoire ne serait pas formée d'un seul mécanisme élémentaire, comme Kandel semble le soutenir.

Faire de la facilitation présynaptique le mécanisme élémentaire de l'apprentissage provoque un questionnement sur la nature de la mémoire. Devient-elle un objet physique? *« I hope to document how cognitive psychology, which has shown that the brain stores an internal representation of experimental events, converges with neurobiology, which*

---

<sup>100</sup> Carew, T.J. *et al* (1990). The development of learning and memory in aplysia ; Rankin, C.H. et Carew, T.J. (1987). Development of learning and memory in aplysia.

<sup>101</sup> Colebrock, E. et Luckowiak, K. (1988). learning by the aplysia model system.

*has shown that the representation can be understood in terms of individual nerve cells [...] ».*<sup>102</sup> Pour Kandel, il est évident qu'un élément d'une représentation cognitive peut être réduit à un neurone individuel.

« *As a result of previous activity, chemical synapses can support short-term alterations of functional effectiveness (lasting from minutes to hours). These changes can be regarded as a form of information storage.* »<sup>103</sup> Selon Kandel, les synapses peuvent donc être vues comme des endroits où l'information est remise. Kandel fait ailleurs explicitement référence à la mémoire à long terme comme étant un lieu d'apprentissage.<sup>104</sup> La conception de la mémoire en tant qu'objet physique est aussi cohérente avec la particularité de l'apprentissage à long terme de provoquer l'apparition de nouvelles protéines.<sup>105</sup>

Cette vision « localisationniste » de la mémoire en tant qu'objet physique provoque forcément un morcellement des stimuli de la perception pour les localiser à un endroit précis. Elle est ironiquement appelée « **théorie de la cellule grand-mère** », *grand-ma cell theory*. Selon elle, une caractéristique, par exemple le nez du visage de grand-mère, est située dans un neurone et il suffit que ce neurone soit activé pour que cette ca-

---

<sup>102</sup> Kandel, E.R. (1983). *From Metapsychology to Molecular Biology*, p.1277.

<sup>103</sup> Kandel, E.R. (1976). *Cellular basis of behavior*, p.534.

<sup>104</sup> Voir par exemple Sweatt, D.J. et Kandel, E.R. (1989). *Persistent and transcriptionally-dependent increase in protein phosphorylation in long-term facilitation of aplysia sensory neurons*, p.51 ; Castellucci, V.F. et Kandel, E.R. (1974). *A quantal analysis of the synaptic depression underlying habituation of the-gill-withdrawal reflex in aplysia*, p.500-508.

<sup>105</sup> Il ne faut pas confondre cette notion d'apprentissage en tant que lieu physique et le processus d'entreposage en sciences cognitives qui a une définition qui n'implique nullement la passivité de cette capacité, comme c'est le cas ici.

ractéristique particulière soit rappelée. Il y aurait donc correspondance biunivoque entre le neurone et une certaine composante cognitive. À la limite, un chercheur pourrait isoler un neurone et dire qu'il possède le percept du nez de sa grand-maman.<sup>106</sup> Personne en neurosciences ne semble soutenir actuellement une telle position. Cela ferait du système nerveux central une machine lente dont le fonctionnement serait facilement attaqué.

\* \* \* \*

Les cinq principes méthodologiques utilisés par Eric Kandel pour étudier les mécanismes neuraux de la mémoire sont les suivants :

- 1) Les recherches se font dans le cadre du monisme matérialiste et déterministe. Le chercheur n'utilise que des propriétés neurales pour comprendre les caractéristiques des processus cognitifs.
- 2) La mémoire et l'apprentissage sont des facultés favorisant l'adaptation de l'organisme à son milieu. Ils permettent l'influence de l'environnement sur les mécanismes neuraux établis par le code génétique : l'apprentissage est un des intermédiaires entre le code génétique et l'environnement.
- 3) Les comportements et les processus cognitifs proviennent de l'interaction des comportements ou des processus cognitifs élémentaires. C'est l'alphabet comportemental et cognitif.
- 4) Il n'y a pas de différence fondamentale entre les mécanismes neuraux élémentaires d'un comportement ou d'un processus cognitif du point de vue neurologique. Les mécanismes neuraux sont universels, localisables à un petit nombre de neurones et ne peuvent être

---

<sup>106</sup> Allport, S. (1986). Explorers of the black box, p.259-260.

ramenés à un autre mécanisme plus fondamental. Ils ne se distinguent que par leurs caractéristiques anatomiques, physiologiques et chimiques. C'est l'alphabet neural.

5) Il y a continuité phylogénétique entre l'animal et l'homme grâce à une évolution physiologique. Les mécanismes élémentaires sont donc similaires chez tous les animaux, l'humain n'étant qu'un animal parmi les autres.

Les justifications de ces principes sont de deux ordres. Premièrement, certains dépendent des objectifs de recherche. Ainsi, en plus de légitimer toute recherche empirique, le premier postulat veut rapprocher les neurosciences et les sciences cognitives aux sciences physiques. Le deuxième principe veut rapprocher ces deux domaines de recherche de la biologie et l'éthologie. Deuxièmement, les principes 4 et 5 sont la conséquence du premier principe (monisme matérialiste et déterministe) en conjonction avec certains résultats empiriques : cette justification est donc essentiellement méthodologique. Le principe 3 n'est finalement qu'un principe de classification facilitant la recherche. Il n'y a aucune justification métaphysique ou ontologique de ces principes bien qu'ils soient des choix ontologiques.

Il serait trop facile de d'énoncer que les principes radicaux de Kandel, résumés par la formule : « **toute opération mnésique est exprimée en dernière analyse par la facilitation présynaptique** », doivent être rejetés pour des raisons empiriques. En effet, il est légitime de remettre en question la validité de cet ensemble de prémisses car il pourrait engendrer des faux principes ; cet ensemble de prémisses deviendrait alors suspect. Or,

comme il est facile de constater, l'énoncé fautif précédent est causé par la négligence de facteurs due à la concentration du chercheur sur un système défini de manière trop restrictive (relié en, dernière analyse, à une conception particulière de la causalité). Le radicalisme n'a alors rien à voir avec les cinq principes généraux et il n'y a aucune preuve qu'ils peuvent engendrer des prémisses fausses d'un point de vue empirique.

La facilitation présynaptique serait universelle en vertu du principe de continuité phylogénétique : elle serait observée pour toutes les espèces d'animaux. Ce mécanisme serait général car il serait nécessaire autant pour la mémoire à court terme que pour la mémoire à long terme. De plus, en ne faisant pas référence au type particulier d'information emmagasinée, Kandel laisse supposer que ce mécanisme vaut pour toutes les informations. En ce sens, le mécanisme que décrit ce chercheur est une étape fondamentale dans les processus de mémorisation. Finalement, Kandel n'a pas étudié les processus du rappel et il ne décrit pas de système permettant l'encodage des percepts en traces mnésiques. La facilitation présynaptique semble donc correspondre au processus d'entreposage décrit en sciences cognitives. En effet, l'entreposage est une étape universelle dans le processus de mémorisation et il prévaut pour tous les types d'information. Notons que la conception cognitive de l'entreposage ne présume pas qu'il n'y ait qu'un mécanisme qui la génère mais plutôt qu'il est nécessairement présent dans la mémorisation, peu importe sa forme.

Les cinq principes généraux serviraient alors pour Kandel à réduire le processus d'entreposage à la facilitation présynaptique. Il faut conclure par-là que la facilitation présynaptique pourrait correspondre à un des mécanismes d'entreposage mais qu'il n'en est probablement pas le seul.

Soulignons finalement qu'à cause de la méthodologie behavioriste utilisée, la démarche d'Eric Kandel présente deux tendances fondamentales : celle de construire une science sur la base de données observables et celle d'éliminer, en pratique, tout apprentissage qui ne s'inscrit pas dans ce cadre standardisé.

## CHAPITRE 2

Au premier chapitre, nous avons défini cinq principes servant, pour Eric R. Kandel, à réduire le processus d'entreposage, décrit par les sciences cognitives, à la facilitation présynaptique, décrite par les neurosciences. Ce second chapitre se compose de deux volets. Le premier est consacré à l'analyse de l'utilisation théorique par Kandel du béhaviorisme. Le second sert à déterminer si un des modèles de réduction développés en philosophie correspond à la réduction envisagée par Kandel.

\* \* \* \*

### 1 Le béhaviorisme

Comme nous l'avons présenté, Kandel se base sur cinq principes pour réduire le processus d'entreposage à la facilitation présynaptique, donc de réduire un processus cognitif à un mécanisme neural. Pour leur part, Gold et Stoljar<sup>107</sup> nient l'existence de tout soutien théorique sur la possibilité de réduction des sciences cognitives aux neurosciences à partir d'une analyse des travaux de chercheurs en neurosciences. Les auteurs vont plus loin en niant même la possibilité de découvrir, un jour, un tel soutien. Gold et Stoljar avancent trois arguments.<sup>108</sup> Les deux premiers sont rapidement écartés car ils ne s'avèrent pas très intéressants. Le troisième touche directement à la problématique de cette étude et, par conséquent, nous le présentons plus en profondeur.

---

<sup>107</sup> Gold, I. et Stoljar, D. (1997). Is there a science of the brain?

<sup>108</sup> Gold, I. et Stoljar, D. (1997). Is there a science of the brain?, p.19-22.

Le premier argument de Gold et Stoljar contre la réduction des processus cognitifs est de type logique. Certains voudraient déduire la véracité de la réduction à partir de l'analyse de prémisses vraies. Le premier axiome se fonde sur le naturalisme. (1) La théorie complète de tout phénomène ne peut provenir que de la science de ce phénomène. (2) La partie du corps responsable du phénomène mental est le système nerveux central. (3) Les neurosciences sont les sciences du système nerveux central. (4) La théorie complète du phénomène mental ne peut provenir que des neurosciences. Pour valider une interprétation aussi radicale que celle prônée par Kandel, il faut cependant modifier une prémisses : (3\*) la neurobiologie est la science du phénomène mental, ce qui modifie la conclusion : (4\*) la théorie complète du phénomène mental est neurale. Or, la prémisses (3\*) est aussi controversée que la conclusion : il est alors difficile de justifier la dernière par la première.

Par ailleurs, il est intéressant de se demander si cette réduction se doit d'être soutenue par des arguments logiques ou si elle peut être simplement validée dans la pratique. Est-ce une prémisses d'un ensemble théorique cohérent ou est-ce plutôt une prémisses pragmatique qui permet d'ouvrir des pistes de recherche? Si elle est pragmatique, il est possible qu'elle soit limitée, à l'image du causalisme qui a été remis en question suite aux théories probabilistes de la mécanique quantique. Cela expliquerait la prudence des chercheurs en neurosciences lorsqu'ils discutent de cette prémisses (voir Hubbel, Edelman et Gazzaniga, tels que cités par Gold et Stoljar<sup>109</sup>). Si c'est bien une prémisses pragmatique,

---

<sup>109</sup> Gold, I. et Stoljar, D. (1997). Is there a science of the brain?. p.15-17.

alors seul sa stérilité pourrait nous permettre de l'écarter (et d'autres considérations pragmatiques comme l'existence d'une hypothèse alternative plus simple, par exemple).

Pour appuyer cette interprétation, notons que tous les principes utilisés par Kandel sont fondamentalement appuyés par des arguments heuristiques. C'est sur la base de ces principes que Kandel élabore ses hypothèses testables, ses protocoles de recherche, etc. Les principes sont alors modifiables selon les découvertes obtenues. Le soutien logique de la réduction ne semble donc pas être indispensable dans un projet aussi pragmatique que celui de Kandel. Cet argument nous semble alors peu intéressant.

Le deuxième repose sur l'unification des sciences. Pour être complète, une théorie scientifique doit être unie aux sciences de la nature. Or, seules les neurosciences permettraient d'établir des liens entre les sciences du phénomène mental et les autres sciences. Les neurosciences décriraient alors la théorie complète du phénomène mental.<sup>110</sup> Le promoteur de cet argument semble prendre pour acquis le naturalisme, sans le justifier. Il n'y a donc aucun argument énoncé : or, il se peut que les phénomènes mentaux aient des lois différentes des autres sciences. Il est possible d'avoir comme but l'unification des sciences mais il ne peut être tiré aucun argument de ce simple souhait. Inversement, du fait qu'il ne peut être tiré aucun argument de l'énonciation de ce but, nous ne pouvons pas en déduire non plus que le lien entre les mécanismes neuraux et les processus cognitifs est impos-

---

<sup>110</sup> « On this view, science gives us a picture of the world, and **we would like** that picture to be as coherent and seamless as possible. » (citant Sellers, Gold, I. et Stoljar, D. (1987). *Is there a science of the brain?*, p.44 et souligné par nous).

sible, comme Gold et Stoljar le laissent sous-entendre. Dès lors, cet argument nous semble peu intéressant.

Le troisième argument affirme qu'il n'existe pas de concept purement neurologique. Tous ces énoncés en neurosciences sont historiquement influencés par la philosophie, la psychologie et la physiologie.<sup>111</sup> Un ensemble d'énoncés purement neurologiques ne peut exister, car ceux-ci présentent toujours au moins une propriété qui ne peut être exprimée de manière neurale. Pour démontrer cette affirmation, Gold et Stoljar analysent justement les travaux d'Eric Kandel comme nous l'avons fait. C'est donc un argument plus sérieux contre la réduction car, s'il est justifié, il permet de réfuter même une interprétation pragmatique de cette doctrine. Selon cet argument, les travaux de Kandel ne sont pas purement neurologiques puisqu'ils sont influencés par le béhaviorisme. En effet, Eric Kandel, comme la majorité des autres chercheurs en neurosciences, utilise des méthodes de conditionnement qui ont été proposées et développées par des béhavioristes.<sup>112</sup> Il serait alors fondamentalement impossible d'avoir une réduction entre les sciences cognitives et les neurosciences, puisque aucune frontière ne pourrait être clairement établie entre ces deux domaines. Le but de cette section est de saisir si cet argument est justifié par notre analyse des travaux d'Eric Kandel. Nous débuterons celle-ci par une description du béhaviorisme et de ses principes. Nous les comparerons alors aux principes généraux de Kandel afin de déterminer s'il y a une correspondance entre eux.

---

<sup>111</sup> Gold, I. et Stoljar, D. (1997). *Is there a science of the brain?*, p.23.

<sup>112</sup> Gold, I. et Stoljar, D. (1997). *Is there a science of the brain?*, p.31.

Le but du béhaviorisme est de donner une crédibilité scientifique à la psychologie en lui donnant comme fondement des données directement observables pour ainsi lui permettre de tirer des lois universelles et vérifiables, à l'image de la physique ou de la chimie. Les béhavioristes veulent réduire la psychologie à la physique par l'entremise du comportement, et non par celle d'une analyse d'un phénomène physique ou chimique.<sup>113</sup> Les principaux tenants de cette approche sont Burrhus Skinner et John Watson.

La forme classique du béhaviorisme en psychologie (ou béhaviorisme scientifique) se préoccupe de la prédiction du comportement. Les chercheurs étudient les lois liant le comportement aux stimuli environnementaux. Ce courant croit que le comportement est le résultat de l'impact de certains stimuli observables sur l'organisme. Le comportement est perçu comme résultant d'un principe « d'action/réaction » où l'action est représentée par un stimulus et la réaction, par le comportement de l'organisme (relation « stimulus/réponse »). Selon ces chercheurs, le comportement d'un individu est entièrement prévisible à partir de l'analyse fine des stimuli qu'il absorbe, sans avoir besoin de postuler une quelconque étape entre les deux, étape qualifiée de cognitive.

Dans le béhaviorisme, il y a une substitution de l'objet d'étude de la psychologie. Les chercheurs étudieront les comportements et les stimuli qui les influencent plutôt que le phénomène mental. Ceci a deux conséquences, l'une constructive, soit d'ériger de nouvelles bases de connaissances, et l'autre destructive,<sup>114</sup> soit l'élimination des variables in-

---

<sup>113</sup> Madell, G. (1988). Behaviorism, p.427.

<sup>114</sup> Tilquin, A. (1942). Le béhaviorisme, p.13.

ternes : au mieux, elles ne doivent avoir qu'un rôle strictement heuristique. Les observations du type « stimulus/réponse » sont utilisées en tant qu'unité qui ne peut être ramenée à d'autres concepts.<sup>115</sup>

Les behavioristes pensent que les processus cognitifs existent mais qu'ils n'influencent pas le comportement : ils n'ont pas de conséquences observables. Selon les behavioristes, les processus cognitifs ne peuvent être étudiés scientifiquement car ils ne s'observent pas directement : ils font partie de la « boîte noire » selon l'expression consacrée. D'une certaine manière, il faut parler d'un parallélisme psychophysiologique entre les pensées de l'individu et ses réactions corporelles.

Le système nerveux central n'est donc qu'un réseau de connexions mettant en relation, chez l'organisme, sa périphérie sensorielle et sa périphérie motrice. L'étude behavioriste se limite donc à l'étude du couple « stimulus/réponse », sans se préoccuper de leurs antécédents respectifs.<sup>116</sup> Le stimulus dénote un changement dans l'environnement et la réponse de l'organisme est une tentative de neutralisation de ce changement. En d'autres termes, la réponse comportementale est une adaptation de l'organisme à la stimulation. Par définition, tout stimulus provoque une réaction et toute réaction est provoquée par un stimulus. Il y a donc une relation déterministe entre les deux entités.

---

<sup>115</sup> Nelson, R.J. (1969). Behaviorism is false, p.418.

<sup>116</sup> Tilquin, A. (1942). Le behaviorisme, p.23.

Selon André Tilquin,<sup>117</sup> le béhaviorisme scientifique repose sur cinq principes<sup>118</sup> :

- 1) Les recherches béhavioristes se font selon le cadre du monisme matérialiste et déterministe.
- 2) La réduction de l'événement psychologique à une interaction « organisme/environnement » est conçue comme une adaptation, c'est-à-dire comme une réponse active par la modification de l'organisme ou de l'environnement face au stimulus reçu.
- 3) Le système nerveux central a exclusivement un rôle de conduction entre l'organe sensoriel et l'organe moteur.
- 4) Le béhaviorisme est une science pratique, formulant des lois prédictives sur le comportement à partir des stimuli reçus par l'organisme.
- 5) Il y a une continuité phylogénétique entre l'animal et l'homme grâce à une évolution physiologique.

Nous pouvons maintenant faire une comparaison entre les principes utilisés par Kandel dans sa réduction du processus d'entreposage à la facilitation présynaptique et les principes béhavioristes énoncés par André Tilquin.

---

<sup>117</sup> Tilquin, A. (1942). Le béhaviorisme, p. 13-29.

<sup>118</sup> Il est à noter que certains textes philosophiques, dont celui de Byrne (Byrne, A. (1994). Behaviorism), tentent d'inclure dans le béhaviorisme toutes les recherches portant sur le système nerveux central. Il nous semble que, ce faisant, ces auteurs catégorisent les chercheurs en neurosciences dans une classe que ces derniers refuseraient. Inversement, les béhavioristes, tels Skinner ou Watson, se dissocieraient eux-mêmes de ce domaine. De plus, les auteurs omettent les caractéristiques philosophiques différentielles que nous soulignons dans cette section.

- 1) Les recherches béhavioristes se font dans le cadre du monisme matérialiste et déterministe. L'analyse des travaux de Kandel démontre qu'il prône lui aussi un monisme matérialiste et déterministe. Il n'utilise que des propriétés neurales pour expliquer les processus cognitifs.
  
- 2) La réduction de l'événement psychologique à une interaction « organisme/ environnement » est conçue comme une adaptation, c'est-à-dire comme une réponse active par la modification de l'organisme ou de l'environnement face au stimulus absorbé. Or, selon Kandel, l'apprentissage est une de ces capacités qu'a l'individu de s'adapter à son milieu. Cependant, il est difficile de saisir comment l'apprentissage pourrait favoriser l'adaptation du milieu à l'organisme, c'est-à-dire comment l'apprentissage de l'organisme pourrait influencer son environnement, de manière à mieux l'adapter à cet organisme. Kandel applique ainsi ce principe de façon plus restrictive que le béhaviorisme.
  
- 3) Le système nerveux central a exclusivement un rôle de conduction entre l'organe sensoriel et l'organe moteur. Or, c'est précisément l'objet d'étude de Kandel que de déterminer quelles sont les transformations causées par l'apprentissage sur les cellules nerveuses. Adopter un tel principe irait à l'encontre de ses propres recherches. Kandel propose plutôt que les comportements et les processus cognitifs proviennent de l'interaction respectivement des comportements et des processus cognitifs élémentaires.

4) Le béhaviorisme est une science pratique, formulant des lois prédictives du comportement par rapport aux stimuli reçus par l'organisme. Kandel réduit le comportement à une série de mécanismes neuraux élémentaires. Ces derniers sont universels, localisables dans un petit nombre de neurones et qui ne peuvent être ramenés à tout autre mécanisme. Il n'y a pas de différence fondamentale entre les mécanismes élémentaires d'un comportement ou d'un processus cognitif du point de vue neurologique. Ils ne se distinguent que par leurs caractéristiques anatomiques, physiologiques et chimiques. Le comportement n'est donc qu'un influx neural, dans un organe moteur, influencé par une chaîne causale d'événements qui a pour origine un influx nerveux provenant d'un organe sensoriel. Cependant, Kandel ne se limite pas à la description des stimuli et des réponses comportementales, son but est prédire les mécanismes de transformation de l'information influençant le comportement. La prédiction du comportement est alors une conséquence nécessaire mais pas un but en soi, comme c'est le cas pour le béhaviorisme.

5) Il y a un principe de continuité phylogénétique entre l'animal et l'homme grâce à une évolution physiologique. Selon Kandel, la nature a tendance à reproduire les solutions qu'elle crée. Les mécanismes élémentaires sont alors similaires chez tous les animaux, l'humain n'étant qu'un animal parmi d'autres. Ce principe est utilisé de manière identique chez Kandel.

Il est facile de saisir les liens entre le béhaviorisme et les principes de Kandel : le monisme, le matérialisme, le déterminisme, le but d'obtenir des lois prédictives et la conti-

nuité phylogénétique entre l'humain et l'animal. Cependant, nous pouvons constater que les principes du béhaviorisme sont fondamentalement différents des cinq principes de Kandel. S'intéresser aux mécanismes neuraux plutôt qu'aux comportements implique que les problèmes engendrés par les principes du béhaviorisme ne se posent pas en ce qui concerne les principes de Kandel. Ces principes sont clairement une évolution du béhaviorisme pour se rapprocher des sciences physiques, par l'entremise de l'étude des composantes physiques et chimiques du système nerveux central.

Le travail de Kandel s'inscrit dans la lignée de la méthodologie des sciences physiques et se distancie du béhaviorisme par son objet d'étude : l'objet d'étude de Kandel est, en dernière analyse, la transformation de l'information par les mécanismes neuraux et non le comportement. Pourrions-nous qualifier de néo-béhaviorisme cet ensemble de principes? Non, car, selon les principes de Kandel, les comportements ne sont que des mécanismes neuraux susceptibles de transformation selon l'apprentissage : ils n'ont donc pas d'importance en soi.<sup>119</sup>

---

<sup>119</sup> Notons que le code génétique et l'environnement sont les seules influences du comportement acceptables pour la plupart des béhavioristes (voir à ce propos De Waal, F.B.M. (1999). *The end of nature versus nurture*). Une approche néo-béhavioriste pourrait donc être de faire un lien direct entre le code génétique et le comportement, comme le fait l'équipe de Cornelia Bargman (voir, par exemple, De Bono, M. et Bargman, C.I. (1998). *Natural variation in a neuropeptide Y receptor homolog modifies social behavior and food response in C. Elegans*). L'équipe de Bargmann associe un gène particulier au comportement de retrait face à un groupe de congénères chez le *Caenorhabditis elegans* : ce phénomène correspond à la timidité chez l'humain. Elle pourrait alors simplement étudier la différence causée par ce gène dans le système nerveux. Ce n'est donc pas le fait d'effectuer des analyses neurologiques qui caractérise fondamentalement l'objet d'étude de Kandel. C'est plutôt le fait de croire que le système nerveux transforme l'information fournie par les organes sensoriels de manière à influencer le comportement.

Revenons à Gold et Stoljar. Pour eux, la théorie de Kandel n'est pas purement neurologique car les techniques et les concepts de sensibilisation, d'habituation et de conditionnement classique utilisés par lui ne sont pas neutres.<sup>120</sup> Ils ont un contenu psychologique et historique qui peut remonter jusqu'à Hume et Mill (de même que jusqu'à Aristote, à la limite). «*The important point is that any substantive concept adopted by neurobiology in order to explain a mental phenomenon is likely to have some complete history or other in philosophy, psychology, and physiology.*»<sup>121</sup>

Suivant ce principe, il faut souligner que tout concept, peu importe sa nature, est nécessairement contaminé par sa propre histoire : tous les concepts en ont une et elle peut être très longue. Ce n'est donc pas un critère très intéressant car il n'est pas discriminant.

Nous croyons que l'erreur de Gold et Stoljar est de penser que Kandel utilise les concepts décrits en psychologie pour l'explication de ses résultats empiriques. Or, il n'emploie pas les concepts béhavioristes. L'équipe de Kandel n'utilise que leurs techniques, comme un instrument de travail procurant une information standardisée. Un peu comme le biologiste qui utilise un microscope, il sait comment l'information lui parviendra car elle est balisée de manière connue (par exemple, un grossissement de  $1 \times 1000$ ). Ainsi, il est inutile de proposer que les différentes théories de la réfraction de la lumière fassent partie intégrante de ses propres théories car le microscope modifie l'information d'une manière uniforme, connue et prévisible : l'effet théorique peut alors être annulé. De la même

---

<sup>120</sup> Gold, I. et Stoljar, D. (1997). *Is there a science of the brain?*, p.31.

<sup>121</sup> Gold, I. et Stoljar, D. (1997). *Is there a science of the brain?*, p.33.

manière, le conditionnement est pour Kandel un instrument de travail très précis qui permet de s'assurer que l'aplysie a appris ce qu'elle devait apprendre. Le travail théorique commence lorsque le chercheur se penche sur les processus d'acquisition et de rétention de l'information, peu importe son origine.

De manière plus générale, si un concept est exprimé à l'intérieur d'une théorie neurologique ou biologique, ses composantes historiques et culturelles sont évacuées au profit de la définition que le chercheur lui donne. Par exemple, le concept de « masse » a eu une longue histoire. Par contre, une fois qu'il est inséré dans la théorie de la mécanique newtonienne, son sens devient spécifique. Pour cette raison, nous pensons que la critique de Gold et Stoljar n'est pas une atteinte au monisme matérialiste présent dans les recherches de Kandel ; ses résultats ne doivent donc pas être corrigés ou limités pour tenir compte de cet argument.

Selon nous, pour prouver que les théories de Kandel sont contaminées, il faudrait démontrer qu'à une certaine étape de son raisonnement, il fait ou doit faire référence à un mécanisme ou une propriété qui n'est pas neurologique : un genre de « *and then a miracle occurs* » comme le dit si bien la blague. Si une telle propriété était découverte et qu'elle s'avérait fondamentale, cela serait un obstacle incontournable quant à la possibilité de réduction entre les sciences cognitives et les neurosciences. Nous n'avons pas découvert une telle faille chez Kandel.

Nous pouvons alors conclure que l'objectif de Kandel est de baser les sciences cognitives sur des mécanismes neuraux (plutôt que sur la base du couple « stimulus/réponse » comme c'est le cas avec le béhaviorisme). D'ailleurs, Kandel lui-même critique le fait que les béhavioristes ne se préoccupent pas des mécanismes neuraux. Selon lui, lorsqu'un objet d'étude est aussi complexe que le système nerveux central, les observations doivent être faites selon plusieurs théories concurrentes et équivalentes. Kandel affirme avoir l'intention d'explorer cette fameuse « boîte noire » pour en comprendre le fonctionnement interne et ses liens avec le comportement.<sup>122</sup>

Par contre, l'utilisation du béhaviorisme cause l'élimination de l'étude d'un certain nombre de phénomènes qui ne peuvent être étudiés selon ces techniques. Il nous semble difficile, par exemple, de définir l'apprentissage d'une thèse philosophique selon ce schème car la répétition n'a pas nécessairement d'importance. Nous verrons que ce n'est pas la seule source d'élimination.

Nous avons analysé les liens entre le béhaviorisme et les travaux de Kandel. Voyons maintenant quel genre de liens ils entretiennent avec les sciences cognitives.

---

<sup>122</sup> Kandel, E.R. (1984). Steps toward a molecular grammar for learning, p.558.

## 2 La réduction

### 2.1 Les principes de la réduction selon Eric Kandel

Kandel perçoit le lien entre les sciences cognitives et les neurosciences de cette manière :

*« Over the past several decades, there has been a gradual merger of two originally separate fields of science : neurobiology, the science of the brain, and cognitive psychology, the science of the mind. Recently the pace of unification has quickened, with the result that a new intellectual framework has emerged for examining perception, language, memory and conscious awareness. This new framework is based on the ability to study the biological substrate of these mental functions. A particularly fascinating example can be seen in the study of learning. Elementary aspects of the neuronal mechanisms important for several different types of learning can now be studied on the cellular and even on the molecular level. The analysis of learning may therefore provide the first insights into the molecular mechanisms underlying a mental process and so begin to build a bridge between cognitive psychology and molecular biology. »*<sup>123</sup>

Kandel désire regrouper ces deux domaines de recherche. Un questionnement demeure sur les modalités de cette union : veut-il éliminer ontologiquement l'une des deux sciences ou veut-il les compléter l'une par l'autre ? À l'appui de la première thèse, certains pourraient énoncer qu'il n'a pas étudié les propriétés cognitives de la mémoire et qu'il s'est uniquement concentré sur les propriétés neurales. Cependant, d'autres pourraient expliquer ce fait, tout simplement, par la facilité d'étude des mécanismes neuraux selon une méthode empirique : ils sont directement accessibles, alors que les processus cognitifs sont postulés à partir d'observations comportementales. Dans le passage cité, nous pouvons comprendre assez facilement qu'il y a entre ces sciences un lien de complé-

---

<sup>123</sup> Kandel, E.R. (1992). The biological basis of learning and individuality, p. 79.

mentarité, c'est-à-dire que les neurosciences étudient les mécanismes moléculaires des facultés décrites en sciences cognitives. D'une part, il y a recherche d'une définition de la faculté produite par les mécanismes neuraux. D'autre part, il y a une description approfondie et directe de ces mêmes mécanismes.

Il affirme, d'ailleurs, que les deux sciences doivent s'utiliser conjointement pour pouvoir comprendre l'apprentissage au niveau moléculaire. Il soutient même que la combinaison des méthodes augmenterait l'efficacité de la description du processus mnésique.<sup>124</sup> Il s'interroge, toutefois, sur la frontière entre ces deux sciences.

Il est évident qu'il n'a aucune volonté d'éliminer les sciences cognitives même si Kandel tente de baser les processus cognitifs sur des mécanismes neuraux. Les sciences cognitives ayant une méthodologie distincte des neurosciences, elles occasionnent des découvertes différentes et peuvent ainsi compléter les recherches en neurosciences. Les deux sciences sont donc complémentaires et essentielles. Les sciences cognitives ne seraient cependant pas indépendantes des autres sciences de la nature et auraient un statut semblable à la chimie par rapport à la mécanique quantique.

Cette approche est compatible avec le concept de développement « coévolutif » proposé par Patricia Smith Churchland. En effet, pour Smith Churchland, il doit y avoir un bénéfice mutuel aux deux disciplines pour les réunir. Ce lien doit augmenter la portée

---

<sup>124</sup> Kandel, E.R. (1984). Steps toward a molecular grammar of learning, p.555-556.

des recherches ou leur donner des bases plus solides. Cette union doit finalement offrir de nouvelles pistes de recherche. Smith Churchland estime que les neurosciences et les sciences cognitives doivent faire ce rapprochement pour cinq raisons. Premièrement, tous les états mentaux sont neuraux. Deuxièmement, le système nerveux de l'humain provient de formes plus simples de systèmes nerveux (évolution naturelle). Troisièmement, à notre stade actuel de connaissance, le système nerveux central est le processeur d'informations le plus complexe et ainsi le plus intéressant. Quatrièmement, ce serait une négligence de la part des chercheurs en sciences cognitives ou en neurosciences que de ne pas tenir compte de ce que font les chercheurs travaillant sur le même sujet que le leur dans l'autre domaine. Finalement, tous les principes fondamentaux ont parfois besoin de révision et celle-ci peut provenir d'une autre discipline. Il n'y a donc pas d'argument formel énoncé par Smith Churchland sur la nécessité de faire une réduction mais sa stratégie consiste à laisser une porte ouverte : il est, en principe, possible de réduire les deux sciences pour leur bénéfice mutuel.<sup>125</sup>

Kandel, quant à lui, estime nécessaire de combiner les deux méthodes car il croit que l'apprentissage repose sur des mécanismes neuraux. Aucune des deux méthodes n'est alors suffisante, individuellement, pour comprendre la mémoire. Il doit, par conséquent, y avoir une analyse rigoureuse des comportements, établie par les sciences cognitives, offerte en parallèle avec une étude de leurs mécanismes cellulaires, proposée par les neurosciences.<sup>126</sup>

---

<sup>125</sup> Churchland, P.S. (1986). *Neurophilosophy*, p.362.

<sup>126</sup> Kandel, E.R. (1984). *Steps toward a molecular grammar of learning*, p.555-556.

Comment pourrions-nous interpréter de manière cohérente cette réduction en tenant compte des cinq principes déjà énoncés? Définissons ce à quoi ressemblerait la réduction des sciences cognitives et des neurosciences. D'une part, les neurosciences décrivent les mécanismes neuraux et, d'autre part, les sciences cognitives infèrent l'existence des processus cognitifs : la première science décrit de manière minutieuse mais aveugle les mécanismes neurologiques ; la seconde s'appuie sur ces données solides afin d'en tirer une interprétation juste, permettant une description adéquate des capacités mentales. Les deux sciences seraient ainsi combinées. Il semble que ce soit la vision la plus cohérente et la plus plausible à tirer des écrits d'Eric Kandel.

Le fait que les processus cognitifs soient entièrement descriptibles en termes neurologiques pourrait expliquer que certains chercheurs en neurosciences croient que leurs sciences n'ont pas besoin des sciences cognitives et qu'elles se suffisent à elles-mêmes (complétude des neurosciences). En outre, tout processus devrait pouvoir s'exprimer en termes uniquement neurologiques, mais sa compréhension se fait en termes cognitifs. Les sciences cognitives ont donc un rôle dans l'interprétation des mécanismes mais elles n'ont pas de rôle dans la description des mécanismes neuraux.<sup>127</sup> Elles participeraient ainsi à notre compréhension des mécanismes sans avoir d'influence directe sur les propriétés des mécanismes. Il y aurait donc une différence de niveau ontologique entre les deux disciplines. Les neurosciences décrivent les processus matériels et forment la base

---

<sup>127</sup> Elles pourraient évidemment proposer de nouvelles pistes de recherche.

métaphysique des capacités cognitives. Leur interprétation dépendrait de la connaissance de ces mécanismes. Elles se situeraient donc au niveau épistémologique.<sup>128</sup>

Il ne s'agit pas non plus de tomber dans la caricature en laissant supposer qu'il y a une nette coupure entre les deux sciences. Tout chercheur manipule certaines conceptions tirées des deux disciplines, mais dans des proportions diverses. Ainsi, le chercheur en neurosciences voudra comprendre le résultat de ses découvertes au niveau comportemental et le chercheur en sciences cognitives inférera des mécanismes neuraux à partir de la description des facultés cognitives qu'il développe. De plus, les chercheurs dans ces domaines ont certainement des interprétations implicites, ou non, des principes de l'autre science sur lesquels ils basent leurs propres recherches. Par exemple, le système nerveux central, pour certains chercheurs en sciences cognitives, n'est qu'un substrat matériel sans importance : pourtant, c'est bien une hypothèse de travail de type neurologique!<sup>129</sup> D'une part, cela indique, selon nous, l'interdépendance des deux sciences. D'autre part, c'est une admission tacite de l'importance de la réduction entre les deux sciences.

Le chercheur en neurosciences et le chercheur en sciences cognitives ont donc le même but : décrire avec exactitude les facultés cognitives, mais ils ont des méthodologies différentes se complétant, tout au moins en partie. Notons, par contre, l'absence de

---

<sup>128</sup> Cette distinction entre un niveau ontologique et un niveau épistémologique n'implique pas formellement une réduction. Cependant, nous croyons qu'elle reflète bien la réduction telle que conçue par Eric Kandel.

<sup>129</sup> Edelman, G.M. (1994). *Biologie de la conscience*, p.24.

transfert entre les deux niveaux : il existe deux plans parallèles ayant des vocabulaires propres.

Selon nous, il est possible de conclure que Kandel ne veut pas éliminer les sciences cognitives mais plutôt les compléter par les neurosciences. Les sciences cognitives seraient alors fondées sur les mêmes principes que les neurosciences, donc sur des lois physiques et chimiques. Comme nous le verrons plus loin, il y a, malgré tout, une forme d'élimination dans cette réduction. En philosophie, beaucoup de chercheurs ont justement proposé des modèles de réduction qui ont pour but de décrire et de valider de telles tentatives. Nous tentons maintenant de déterminer si un de ces modèles correspond à la démarche de Kandel.

## 2.2 La réduction radicale

De manière extrêmement sommaire, nous pouvons énoncer que **la réduction est une relation entre deux cadres conceptuels distincts décrivant un même phénomène avec deux vocabulaires différents.**<sup>130</sup> Selon Lorenz B. Puntel,<sup>131</sup> il y a deux tendances fondamentales dans les modèles de réduction : il y existe une tendance radicale où la théorie réduite est intégrée à la théorie plus générale ; il y a aussi une tendance modérée où le vocabulaire de la théorie réduite est éliminé au niveau ontologique, de sorte que cette dernière n'est pas assimilée.

---

<sup>130</sup> Churchland, P.M. et Churchland, P.S. (1992). *Intertheoretic reduction*, p.21-22.

<sup>131</sup> Puntel, B. (1991). *Reductionism*, p.763-765.

La conception radicale se divise elle-même en deux points de vue. Le premier résulte d'une **incorporation** ou d'une intégration de la théorie à réduire à la théorie plus générale. La théorie réduite devient tout simplement un cas particulier de la théorie générale. Nous pouvons classer dans cette conception les modèles de réduction homogène et hétérogène ainsi que le modèle sémantique.

Selon le deuxième point de vue, **la théorie réduite s'inscrit en partie dans un univers ontologique différent de la théorie plus générale**. La réduction consiste alors à abandonner ou à ignorer certains concepts de la théorie réduite, ceux n'appartenant pas au même monde ontologique, au profit d'un concept situé dans l'autre monde. Il y a donc des éléments qui se retrouvent dans les deux mondes. Puntel est avare de commentaires à ce sujet et ne cite aucun auteur. Cette conception de la réduction nécessite cependant deux principes concomitants : le premier définit, au minimum, deux univers différents ; le second pose leurs existences. C'est donc un modèle dualiste. Cela exclut donc l'hypothèse des niveaux ontologiquement séparés que nous avons décrit plus haut, car il n'y a aucun élément qui se retrouve aux deux niveaux. De plus, elle ne nécessite pas une vision dualiste. C'est donc une proposition qui ne correspond pas à la démarche que nous décrivons.

Présentons maintenant les principaux modèles de réduction par incorporation, en débutant par la réduction homogène.

### 2.2.1 La réduction homogène

Présenté dans son ouvrage *The structure of science*, le modèle de réduction d'Ernest Nagel est sûrement le plus connu et le plus commenté. Pour ce chercheur, la réduction est l'explication d'une théorie ou d'un ensemble de lois expérimentales établies dans un domaine par une théorie provenant habituellement d'un autre domaine. Il désigne par les expressions « **science secondaire** » la théorie que le chercheur tente de réduire et par « **science primaire** » la théorie à laquelle il veut réduire cette science secondaire.<sup>132</sup> Nagel décrit deux types de réduction : la réduction homogène et la réduction hétérogène.

La **réduction homogène** est la situation où une théorie formulée initialement pour une classe restreinte de phénomènes est étendue à une autre classe de phénomènes.<sup>133</sup> Pour que cette réduction s'avère possible, deux conditions doivent être respectées. La première demande qu'il y ait une similarité qualitative entre le phénomène initial et celui auquel le chercheur veut l'élargir.<sup>134</sup> La deuxième condition énonce qu'il ne doit pas y avoir de terme descriptif utilisé dans la science secondaire qui ne soit approximativement utilisé avec le même sens dans la science primaire.<sup>135</sup> Autrement dit, tous les énoncés descriptifs doivent s'équivaloir d'une science à l'autre.

L'exemple le plus connu de cette réduction est la déduction des lois des corps en chute libre de Galilée et des lois de la mécanique céleste de Kepler à partir des lois de la

---

<sup>132</sup> Nagel, E. (1961). *The structure of science*, p.338.

<sup>133</sup> Nagel, E. (1961). *The structure of science*, p.339.

<sup>134</sup> Nagel, E. (1961). *The structure of science*, p.339.

<sup>135</sup> Nagel, E. (1961). *The structure of science*, p.339.

mécanique de Newton ainsi que la définition de la gravitation universelle. Isaac Newton a prouvé qu'il y avait une similarité qualitative entre les phénomènes de la chute des corps et de la mécanique céleste parce qu'à partir des mêmes lois, ce chercheur a pu déduire l'une et l'autre. Bien que la chute des corps et la trajectoire céleste soient deux mouvements distincts, il n'y a aucun besoin de développement de concepts intermédiaires pour les rassembler. Il n'y a qu'une incorporation d'une classe qualitativement similaire à une classe plus large, bien que ces deux classes semblent *a priori* incompatibles (le lien entre la mécanique céleste et la chute des corps n'est pas évident à prime abord. Pour s'en convaincre, il suffit de se référer à la physique aristotélicienne qui distingue fondamentalement les deux). Notons que l'interprétation de Nagel ne prête pas à discussion et soulève si peu de problèmes que ce dernier ne fait que la suggérer sans entrer dans les détails.

La première condition de la réduction homogène stipule que les deux classes du phénomène étudié doivent avoir une similarité qualitative. Si nous appliquons cette condition aux recherches sur la mémoire, cela signifie que la mémoire vue par les sciences cognitives et la mémoire perçue par les neurosciences doivent être de même nature. Il y a bien sûr un lien qualitatif entre les sujets d'étude, mais il n'y a pas de similarité car les descriptions que font les chercheurs de ces deux sciences ont des propriétés très différentes.

La deuxième condition énonce qu'il ne doit pas y avoir de terme descriptif utilisé dans la science secondaire qui ne soit approximativement utilisé avec le même sens dans

la science primaire.<sup>136</sup> Les termes utilisés doivent donc être définis très clairement afin de saisir leur similarité. Il est important de noter que cette condition vaut seulement pour les théories : elle ne peut s'appliquer dans le cas d'une théorie à laquelle on voudrait réduire divers résultats expérimentaux.

Cette condition semble difficile à remplir pour les sciences cognitives car il n'existe pas de consensus sur les propriétés de la majorité des processus cognitifs étudiés. De plus, les moins litigieux sont basés justement sur des données neurologiques précises. Cette caractéristique peut s'expliquer par les deux particularités de la méthodologie des sciences cognitives que nous avons déjà présentées plus haut : premièrement, tous les processus cognitifs sont postulés ; deuxièmement, il n'y a que deux facteurs empiriques sur lesquels les chercheurs peuvent se baser pour déduire ces existences postulées. À partir de données si fragiles, il est facile de mettre en doute les limites ou les définitions de certains processus cognitifs.

La réduction homogène est donc une réduction particulièrement élégante dont la valeur semble reconnue par tous. Il faut cependant avouer qu'elle ne se rencontre que dans de rares cas. Il semble que la réduction entre les neurosciences et les sciences cognitives ne puisse en faire partie, du moins pas sous sa forme actuelle.

---

<sup>136</sup> Nagel, E. (1961). *The structure of science*, p.339.

### 2.2.2 La réduction hétérogène

Le deuxième type de réduction selon Ernest Nagel est la réduction hétérogène : un ensemble de traits formant une théorie, la science secondaire, est assimilé à un autre ensemble de traits différents, la science primaire. La science secondaire est mise en relation avec une théorie établie pour une classe qualitativement différente de phénomènes car elle ne contient pas toutes les caractéristiques descriptives de la science secondaire à l'intérieur de ses propres particularités.<sup>137</sup>

Nagel énumère certaines conditions formelles sur lesquelles repose ce type de réduction. Il faut premièrement avoir bien défini les deux sciences : il est nécessaire d'en avoir déterminé les postulats théoriques et d'en déduire les lois expérimentales. Nagel exige aussi d'avoir défini quels sont les énoncés d'observation donnant une légitimité scientifique à la science secondaire et à la science primaire. Il demande finalement de déterminer quelles sont les lois utilisées par elles, mais provenant des autres sciences.<sup>138</sup>

Comme nous l'avons déjà énoncé, les sciences cognitives forment un ensemble hétérogène de théories, souvent reliées à certains sujets spécifiques de recherche. Il n'y a pas de théorie unificatrice mais un ensemble de théories hétérogènes. Il est alors très difficile de les exprimer sous la forme homogène et structurée d'énoncés, comme le stipule cette condition : elle est actuellement difficile à établir dans les sciences cognitives.

---

<sup>137</sup> Nagel, E. (1961). The structure of science, p.339-340.

<sup>138</sup> Nagel, E. (1961). The structure of science, p.345-349.

Deuxièmement, il faut que les énoncés des deux théories puissent être exprimés dans une structure linguistique. Le chercheur doit privilégier dans sa description les expressions descriptives en rapport direct avec le sujet d'étude, plutôt que les traits logiques de ces sciences.<sup>139</sup> Ces énoncés descriptifs sont souvent des expressions d'observation. Ils doivent référer aux caractéristiques observables de l'objet d'étude en donnant une définition opérationnelle de ces caractéristiques. Parmi les énoncés d'observation, les observations primitives sont celles nécessaires à l'explication d'un nombre maximal d'expressions dans la théorie.<sup>140</sup> De la même manière, nous pourrions faire ressortir des expressions théoriques : celles qui seront nécessaires pour expliquer le plus grand nombre de traits théoriques seront appelées les « expressions primitives ».<sup>141</sup>

Troisièmement, il y a certaines expressions de la science secondaire qui ne se retrouvent pas dans la science primaire. Deux conditions permettent d'établir des liens entre ces énoncés divergents et les énoncés de la science primaire. La première, la condition de connexion, énonce qu'il faut introduire des postulats produisant un lien entre les termes de la science secondaire et les traits théoriques de la science primaire. La deuxième, la condition de dérivabilité, requiert de s'assurer qu'avec ces nouveaux postulats, le chercheur peut déduire, à partir des principes de la science primaire, les énoncés de la science secondaire.<sup>142</sup> C'est l'élément distinctif du modèle de Nagel, ce qu'il appelle les lois de connexion, *bridge laws*.

---

<sup>139</sup> Nagel, E. (1961). *The structure of science*, p.349.

<sup>140</sup> Nagel, E. (1961). *The structure of science*, p.350.

<sup>141</sup> Nagel, E. (1961). *The structure of science*, p.351.

<sup>142</sup> Nagel, E. (1961). *The structure of science*, p.353-354.

De plus, il y a trois conditions non formelles à évaluer : le degré de support des lois de connexion, la fertilité occasionnée par la réduction sur la recherche théorique et expérimentale ainsi que le degré de support de la science primaire.<sup>143</sup> Selon Nagel, nous devons conclure que lorsque toutes ces conditions sont observées, nous pouvons réduire la science secondaire à la science primaire.

Toutefois, il y a un problème théorique fondamental, comme l'a souligné Bonnevac : les principes de dérivation ajoutés ne permettent pas de dériver la science secondaire de la science primaire. Le chercheur réduit la théorie secondaire à la théorie primaire sur laquelle il a ajouté les principes de dérivabilité. Cet ensemble est forcément différent de la science primaire. Par exemple, si nous définissons un système dans lequel  $T$  est la science primaire,  $T'$  la science secondaire et  $C$ , l'ensemble des principes ajoutés permettant la dérivation de  $T'$  à  $T$ , alors la réduction hétérogène se définit comme  $T \cup C \dashv T'$ . Or,  $C$  n'a pas nécessairement de signification ou de caractérisation dans  $T$ . Cette addition peut être une greffe artificielle ajoutée à  $T$ . Nous ne devons donc pas confondre  $T$  et  $T \cup C$ . De plus,  $T \cup C \dashv T'$  est une réduction homogène, comme le fait remarquer Sklar,<sup>144</sup> car il y a une dérivation directe faite à partir de la théorie primaire et des principes ajoutés.<sup>145</sup> La réduction hétérogène n'est donc pas très intéressante au niveau théorique.

---

<sup>143</sup> Nagel, E. (1961). *The structure of science*, p.354-358.

<sup>144</sup> Sklar, L. (1970). *Types of inter-theoretic reduction*, p.119-120.

<sup>145</sup> Bonnevac, D. (1982). *Reduction in the abstract sciences*, p.49-50.

Certains peuvent aussi proposer que ce modèle se veuille heuristique et doit alors se faire présenter des contre-arguments pragmatiques. Voyons alors les deux exemples utilisés par Nagel. Le premier est purement pédagogique, c'est la réduction de la température mesurée par une colonne de mercure à la théorie de l'énergie cinétique moyenne des gaz.<sup>146</sup> Cependant, la température mesurée par la colonne de mercure, qui représente la science secondaire, n'a aucun mécanisme postulé, voir même l'absence de théorie. Elle forme un ensemble plus ou moins hétéroclite d'énoncés d'observation. La seconde théorie donne un mécanisme possible pour expliquer la covariation observée entre la colonne de mercure et la température ambiante, sans qu'aucune exigence de plausibilité, outre qu'intuitive, ne soit nécessaire. Faisons une démonstration par l'absurde. Ainsi, si une théorie quelconque de la température affirme que le mercure est composé de beurre d'arachide croquant et que la température augmente selon la plus grande densité de morceaux d'arachide engendrés par génération spontanée (leur création et leur disparition étant régis selon des mécanismes prévisibles), un chercheur possède alors un autre mécanisme tout aussi explicatif que le premier pour comprendre les covariations observées. Bref, au niveau strictement formel, comme il n'y a aucun mécanisme postulé de mesure de la température selon la colonne de mercure, le chercheur peut réduire le lien de covariation entre la hauteur du mercure et la température ambiante à n'importe quel mécanisme, sans avoir d'instrument formel permettant de juger la légitimité d'une telle réduction. Ce n'est donc pas un bon exemple car il n'y a pas de réduction d'un concept à un autre. Il y a plutôt l'introduction d'un mécanisme pour expliquer un phénomène.

---

<sup>146</sup> Nagel, E. (1961). *The structure of science*, p.340-342.

Le deuxième exemple est celui de la réduction de l'équation de Boyle-Charles en thermodynamique avec la mécanique statistique et à la théorie cinétique de la matière.<sup>147</sup> Selon les propos de Nagel, cet exemple doit servir de modèle de réduction. Cependant, la même critique s'applique. L'équation de Boyle-Charles est une équation d'état, c'est-à-dire qu'elle exprime les caractéristiques d'un système, au moment où le chercheur les mesure, sans avoir de pouvoir prédictif (exactement comme le thermomètre qui mesure l'état de la température sans posséder une capacité de prévision). Cette équation donne une description purement phénoménologique. Pour cette raison, elle ne fait partie des trois lois fondamentales de la thermodynamique. Donc, il n'y a pas de réduction de la thermodynamique puisque cette équation réduite ne s'inscrit pas dans ces lois fondamentales. En fait, cette réduction ressemble à une réduction homogène en ce sens que Nagel tente de compléter une cinématique par une dynamique, comme la réduction de Newton que nous avons décrite plus haut.

Après réflexion, il semble qu'il n'y ait pas d'exemple probant et évident de réduction hétérogène fructueuse et nous nous interrogeons sur les possibilités réelles de l'existence d'une telle réduction. La réduction hétérogène ne correspond donc pas à la réduction telle que décrite précédemment entre les sciences cognitives et les neurosciences.

---

<sup>147</sup> Nagel, E. (1961). *The structure of science*, p.342-345.

### 2.2.3 Le modèle sémantique de la réduction

Le modèle sémantique de réduction a été proposé par Patrick Suppes dans *The semantic conception of theories and scientific realism*. Suppes énonce, selon Bonevac,<sup>148</sup> qu'une théorie peut être réduite à une autre si, pour tout modèle de la théorie primaire, il est possible de construire un modèle isomorphe à partir de la théorie secondaire. Étant donné deux modèles,  $T(K, N)$  et  $T'(K', N')$  où  $K$  et  $K'$  sont deux collections d'éléments formés des relations  $N$  et  $N'$  de la théorie  $T$  et  $T'$ . Ils sont isomorphes si deux conditions sont observées. Premièrement, s'il y a une correspondance biunivoque de tout élément  $k_f$  de  $K$  dans  $K'$  de telle manière que pour tout élément de  $K, \langle x_1, \dots, x_n \rangle$ , il existe  $\langle x'_1, \dots, x'_n \rangle$  où  $x'_i$  est une image de  $x_i$  pour tout  $k_f$ . Deuxièmement, s'il y a une correspondance biunivoque de toute relation  $n_g$  de  $N$  dans  $N'$  de telle manière que pour toute relation  $R$  de  $N, R \langle x_1, \dots, x_n \rangle$ , il existe  $R' \langle x'_1, \dots, x'_n \rangle$  où  $R'$  et  $x'_j$  sont des images respectivement de  $R$  et  $x_j$  pour tout  $n_g$ .<sup>149</sup> En résumé, les théories doivent être formellement identiques.

Si les deux théories sont formellement identiques, cela a pour conséquence qu'elles doivent toutes deux avoir le même nombre d'éléments : il ne peut y avoir de théorie plus générale que l'autre. Pour pallier cette difficulté, certains philosophes pourraient ajouter une condition, soit que la théorie secondaire doit être isomorphe à un sous-ensemble de la théorie primaire. La théorie secondaire peut maintenant être réduite à un sous-ensemble de la théorie primaire. Même sous cette forme, ce modèle nous paraît discutable.

---

<sup>148</sup> Bonevac, D. (1982). Reduction in the abstract sciences, p.56.

<sup>149</sup> Bonevac, D. (1982). Reduction in the abstract sciences, p.56.

Ainsi, ce modèle accepte des cas qui seraient refusés par d'autres modèles. Par exemple, Bonevac<sup>150</sup> définit une théorie  $A$  par deux postulats,  $(x) (F_{xx})$  et  $(\exists x) (y) (x=y)$ . S'il limite l'univers des éléments à un seul, c'est-à-dire  $K=\{a\}$ , et à une seule relation,  $N=\{\langle a,a \rangle\}$ , il obtient alors une interprétation valide. Bonevac définit également une théorie  $B$  par deux principes,  $(\exists x) (\exists y) (x \neq y) \wedge (z) ((z=x) \vee (z=y))$  et  $(x)(y) (G_{xy})$ . Dans ce cas, il définit un univers à deux éléments, c'est-à-dire  $K'=\{b,c\}$  ayant les relations  $N'=\{\langle b,b \rangle, \langle b,c \rangle, \langle c,b \rangle, \langle c,c \rangle\}$ . S'il limite l'univers à un élément, disons l'élément  $b$ , il obtient  $K''=\{b\}$  et  $N''=\{\langle b,b \rangle\}$ . Il y a un isomorphisme entre la théorie  $A$  et un sous-ensemble de la théorie de  $B$ . Il y aurait alors une réduction admise selon le modèle sémantique bien que les principes des deux théories soient différents. Or, cette réduction ne serait pas admise dans le cadre du modèle de réduction homogène à cause de sa première condition exigeant une similarité qualitative entre les deux sciences. Elle ne serait pas non plus retenue selon le modèle de la réduction hétérogène grâce à ses trois conditions non formelles. Le modèle sémantique est donc une version plus faible que les modèles de Nagel car il accepte des réductions qui sont difficilement acceptables intuitivement. Ce modèle ne semble donc pas correspondre à réduction envisagée par Kandel.

### 2.3 La réduction modérée

Selon Puntel, il existe une version modérée de la réduction. Cette version prône qu'il y ait un changement linguistique de l'expression sans que le concept à réduire soit

---

<sup>150</sup> Bonevac, D. (1982). *Reduction in the abstract sciences*, p.57.

touché. Le vocabulaire de la théorie réduite est en pratique éliminé mais son utilisation peut servir à des fins heuristiques ou pédagogiques.

Le premier modèle de ce genre de réduction est **l'admission d'une erreur**, *mistake account* : il y a remplacement d'une théorie fautive, la théorie réduite, par une théorie vraie, la théorie plus générale. Un exemple est le remplacement de la théorie de l'éther. Cette matière était considérée comme étant la substance fondamentale de l'espace supra lunaire pendant des siècles. Les chercheurs considéraient qu'il avait certaines propriétés spécifiques, dont celle de préserver les objets qu'il contient de la corruption. Cette théorie est maintenant considérée comme scientifiquement fautive et les chercheurs savent maintenant que les objets dans l'espace peuvent se transformer, donc se corrompre. Les scientifiques possèdent aujourd'hui diverses théories de remplacement, comme la théorie de la relativité générale d'Einstein, permettant de mieux comprendre les phénomènes célestes. Toute la difficulté de ce modèle réside dans la détermination de la véracité de la théorie plus générale et de la fausseté de l'autre. Cette conception ressemble à l'élimination de la théorie réduite, comme le dit lui-même Puntel. Pour cette raison, il est facile de constater que la démarche de Kandel ne correspond pas à cette conception, car elle n'implique nullement la fausseté complète de l'une des deux sciences qu'elle tente de réduire.

La **réduction arbitraire** est le second modèle de la version modérée de la réduction. Il y a remplacement de la théorie réduite par la théorie plus générale sur la

base de critères externes aux théories. Ces dernières sont donc également acceptables mais incommensurables. Le changement de théorie se fait sur la base de critères tels le champ d'application, l'élégance, etc. Ce type de réduction constitue donc un choix entre deux vocabulaires. En pratique, il est assimilable à l'élimination car il y a évacuation de l'un des deux langages. La réduction matérialiste de Paul Feyerabend est un cas particulier de ce type de réduction.

Selon Paul Feyerabend,<sup>151</sup> il est impossible de réduire un concept des sciences cognitives à un concept neural. Si  $X$  est un processus mental d'une certaine nature cognitive  $A$  et est équivalent à un processus neural d'une nature  $\alpha$ , cela implique que  $X$  a des propriétés physiques et non physiques. Subséquemment,  $X$  étant représentable sous forme physique, les états physiques de  $X$  auraient alors à la fois des propriétés physiques et non physiques. C'est bien sûr une contradiction. Selon Feyerabend, il faudrait alors éliminer toutes les expressions tirées des sciences cognitives du vocabulaire des neurosciences. Les chercheurs devraient chercher à développer le vocabulaire du langage des neurosciences sans référence à cette terminologie. Cette position est couramment appelée **matérialisme éliminatif**.

L'approche de Kandel ne procède pas de cette manière. Kandel veut, en effet, conserver le vocabulaire des sciences cognitives, en l'adaptant pour éviter l'utilisation de certaines expressions n'ayant pas d'équivalence en neurosciences. Il n'y a donc qu'une

---

<sup>151</sup> Feyerabend, P.K. (1963). Comment : mental events and the brain.

élimination de certaines expressions particulières mais elles ne sont pas toutes écartées. L'approche de Kandel ne correspond alors pas au matérialiste éliminatif car il n'y a pas de rejet systématique du vocabulaire des sciences cognitives.

Selon Puntel, la dernière composante de la version modérée de la réduction est la plus intéressante, c'est la **réduction par adéquation**. Il y a remplacement ou élimination de la théorie réduite parce qu'elle est moins adéquate que la théorie plus générale. Cela suppose, bien sûr, la notion de progrès en science. Dans cette section, font partie les conceptions de la réduction selon Lawrence Sklar, Clark Glymour ainsi que la proposition de John G. Kemeny et Paul Oppenheim.

### 2.3.1 Le modèle contrefactuel de la réduction

Pour Sklar, toutes les théories sont fondamentalement incommensurables. Pour lui, le scientifique ne peut réduire qu'une approximation de théorie à une autre théorie. C'est la **réduction par approximation**. La qualité de la réduction dépend alors de facteurs externes, tels la précision de l'approximation, le spectre des valeurs possibles des paramètres des théories, etc. Il y a donc élimination ontologique de la théorie réduite car elle est approximativement fautive comparativement à la théorie générale. Un exemple de cette réduction est le remplacement de la mécanique d'Isaac Newton par la théorie de la relativité générale d'Albert Einstein. Les chercheurs pensent que la théorie d'Einstein prédit les comportements de tout objet matériel avec plus de justesse que la théorie d'Isaac Newton. Cependant, cette dernière est encore utilisée pour des mesures à l'échelle humaine en raison de sa facilité de manipulation ; à ce niveau, elle donne des approxi-

mations acceptables, bien que les chercheurs sachent qu'elles ne sont pas exactes. Sklar pense qu'il faut donc distinguer la réduction d'une théorie et la réduction des justifications de la théorie réduite, c'est-à-dire essentiellement les observations la soutenant. Si cette distinction est admise, un chercheur peut dire qu'une théorie est réduite si les raisons qui permettent de la promouvoir sont expliquées par une autre théorie plus générale.<sup>152</sup> Il devient alors impossible *a priori* que la théorie réduite puisse décrire correctement la réalité par ses propres moyens, car elle ne peut pas être assez précise et exacte par rapport à la théorie principale. Cette conséquence ne correspond pas à la vision de la réduction de Kandel.

L'existence d'un processus cognitif est déduite des résultats obtenus à partir de deux types de facteurs, soit les erreurs et les temps de réponse. Comme nous l'avons vu, les chercheurs en sciences cognitives peuvent alors difficilement éviter une part d'arbitraire dans l'analyse de leurs résultats. Il peut en résulter que certaines théories, qui se côtoient en sciences cognitives, se contredisent. Le chercheur en neurosciences choisit alors certains résultats qui lui semblent plus probants. En ce sens, une analyse pourrait permettre de conclure que Kandel utilise cette méthode de réduction par approximation. Et, en effet, l'approximation est utilisée pour ces raisons pragmatiques mais n'a, nous semble-t-il, aucune portée ontologique. Il faut souligner qu'idéalement, les résultats en sciences cognitives et en neurosciences devraient se recouper, en décrivant le même processus et le même mécanisme à des niveaux différents. Les descriptions des niveaux épistémologique et métaphysique devraient correspondre entre elles, sans qu'aucune

---

<sup>152</sup> Sklar, L. (1967). Types of Inter-theoretic reduction, p. 111-113.

n'ait préséance sur l'autre. Les sciences cognitives n'ont donc aucune limite *a priori* sur la portée ou la précision de leurs résultats. Ses limites actuelles ont pour origine des difficultés méthodologiques, donc *a posteriori*, qui peuvent éventuellement être contournées. Malgré les apparences, ce modèle ne correspond donc pas à la démarche décrite par Kandel parce qu'elle rejette implicitement la validité des deux sciences, mais à des niveaux différents.

Selon Glymour, une théorie est réduite si le chercheur peut expliquer quelles conditions spécifiques de la théorie générale correspond aux conditions où la théorie réduite est valide. Il faut cependant différencier ces conditions particulières de celles qui prévalent plus largement et qui sont décrites par la théorie générale. La technique de Glymour consiste à adapter la théorie plus générale aux conditions particulières caractérisant la théorie réduite, dans le but de construire une sous théorie de la théorie plus générale isomorphe à la théorie réduite. Il y a traduction de la structure syntaxique de la théorie plus générale pour la faire correspondre avec la théorie réduite : si la structure de la théorie générale devient effectivement isomorphe, il y a incorporation de la théorie réduite ; si l'application de cette structure n'est pas isomorphe mais permet d'expliquer les résultats empiriques et les démonstrations validant la théorie réduite, cette dernière est alors éliminée de l'ontologie de la compréhension scientifique du phénomène étudié. La théorie réduite devient une approximation valable dans des conditions limitées.

Ce modèle ne peut pas non plus être appliqué à la réduction des sciences cognitives et des neurosciences car il faudrait déterminer les conditions où les théories des

sciences cognitives ne s'appliquent pas. Or, à cause du parallélisme entre les niveaux neural et cognitif, elles s'appliquent toutes deux à toute description de modification comportementale dans l'étude des processus cognitifs. Il n'y a donc pas de théorie qui englobe plus que l'autre. De plus, il semble difficile de comprendre comment un chercheur pourrait, par la spécification des propriétés neurologiques, découvrir les processus cognitifs qu'ils expriment. Ce modèle de réduction ne semble donc pas correspondre à la démarche de réduction entreprise par Kandel.

### **2.3.2 Le modèle explicatif de la réduction**

Selon John G. Kemeny et Paul Oppenheim,<sup>153</sup> la science progresse de deux façons. La première est l'accroissement de la connaissance dû à l'augmentation du nombre d'observations. La deuxième est l'augmentation de la qualité des théories qui expliquent ces observations. Cette augmentation de qualité se fait par remplacement d'une théorie acceptée par une nouvelle qui lui est supérieure, car elle explique ou prédit d'autres faits inexplicables par la théorie réduite, en plus des faits qu'elle explique : une simplification ontologique est apportée par la nouvelle théorie. Le principe de base de Kemeny et Oppenheim est que les deux sciences doivent être exprimées selon un langage formel, afin que les chercheurs puissent distinguer les énoncés d'observation et les énoncés théoriques. Les observations peuvent ainsi être nettement différenciées de la théorie : la réduction consiste à les expliquer. La réduction de la théorie réduite sur la théorie plus générale se fait selon trois conditions : la première est que le vocabulaire de la théorie réduite doit contenir des termes ne se retrouvant pas dans la théorie plus générale ; la deuxième

---

<sup>153</sup> Kemeny, J.G. et Oppenheim, P. (1956). On reduction, p.6-17.

est que toutes les observations de la théorie réduite doivent s'expliquer dans la théorie plus générale ; la troisième est que la systématisation de la théorie plus générale doit, au moins, équivaloir à la théorie réduite. L'incorporation des énoncés d'observation est donc essentielle, alors que l'incorporation des énoncés théoriques reste accessoire (inutile ou même impensable à la limite). Il y a donc élimination des énoncés théoriques de la théorie réduite.

Ce modèle fait donc abstraction de la différence entre un niveau épistémologique et un niveau ontologique car, dans ce cadre, la réduction des énoncés des deux niveaux de description est essentielle. Ce modèle de réduction ne semble pas correspondre à une démarche de réduction comme celle décrite par Kandel car la réduction des énoncés d'observation est aussi importante que la réduction des énoncés théoriques : idéalement, les deux sciences devraient se compléter sans que l'une puisse avoir préséance sur l'autre. Les concepts cognitifs sont donc aussi importants que les observations.

\* \* \* \*

Aucun des modèles de réduction proposés ne semble s'appliquer à l'approche de la réduction entre les sciences cognitives et les neurosciences entreprise par Kandel. À première vue, cette conclusion pourrait être reliée au fait que les modèles semblent privilégier certains exemples historiques de réduction et tente d'en faire des réductions modèles. Ces réductions étudiées ne correspondraient pas aux caractéristiques de la réduction entre les neurosciences et les sciences cognitives définies selon Kandel.

Ce cadre aurait deux niveaux : un niveau neurologique où il y a observation des mécanismes neuraux ; un niveau cognitif où il y a interprétation des mécanismes observés. Il y a, en pratique à tout le moins, une négligence de tout processus cognitif qui ne peut être observé sous forme de mécanisme neural. Il y a aussi une certaine forme de rejet pour toute propriété qui ne peut être étudiée selon les techniques béhavioristes. Au troisième chapitre, nous présenterons l'application concrète de la technique de réduction de Kandel afin d'en saisir les caractéristiques fondamentales.

## CHAPITRE 3

Au chapitre précédent, nous avons constaté qu'aucun des modèles de réduction définis en philosophie ne semble correspondre à la démarche, caractérisée par cinq principes généraux, entreprise par Eric Kandel. Nous allons maintenant présenter et analyser la technique utilisée en pratique par lui. Pour ce faire, nous ferons l'étude de l'un de ses articles de recherche les plus radicaux.

\* \* \* \*

### 1 La présentation de la technique de réduction

Dans son essai de 1983, *From metapsychology to molecular biology : explorations into the nature of anxiety*, Eric Kandel veut démontrer que ses travaux peuvent s'appliquer directement en psychiatrie. Plus précisément, Kandel définit l'anxiété et tente de l'expliquer à partir des propriétés présynaptiques découvertes chez l'aplysie. Bien sûr, il avoue qu'il ne croit pas que l'anxiété de l'aplysie et celle de l'humain sont identiques mais il pense que les chercheurs peuvent comprendre l'anxiété chez l'humain à partir de la connaissance de ses mécanismes universels tirée des recherches sur l'aplysie. Il propose donc l'existence d'une forme élémentaire d'anxiété expliquant cette pathologie complexe.

Pour ce faire, nous avons décidé de présenter les étapes importantes du raisonnement et de résumer leurs justifications. Bien que notre classification ne se veuille que pédagogique, une part d'arbitraire peut évidemment s'y glisser. C'est pour cette raison que nous taisons d'éventuelles erreurs d'ordre logique.

Kandel débute par la présentation de l'anxiété chez l'humain. Selon lui, (i) l'anxiété est caractérisée par une augmentation générale de la réceptivité face à une menace.<sup>154</sup> Il croit qu'il existe des symptômes qui sont des manifestations subjectives de l'anxiété mais l'augmentation de la réceptivité est sa seule manifestation objective : seule cette dernière importe. (ii) L'anxiété d'anticipation (ou normale) est une augmentation de la réceptivité à la détection d'un stimulus et l'anxiété chronique ou pathologique est une augmentation permanente de la réceptivité, c'est-à-dire que la détection d'un stimulus n'est pas nécessaire.<sup>155</sup> C'est par définition que cette distinction est établie. (iii) Cette réceptivité ou non face à un stimulus démontre un contrôle partiel des manifestations comportementales de l'anxiété par le stimulus.<sup>156</sup> Il énonce alors que (iv) ce contrôle par le stimulus démontre que l'anxiété est apprise.<sup>157</sup> Le postulat le plus discutable de cette étape de la démonstration est assurément (ii) car ce postulat énonce que la différence entre l'anxiété normale et chronique est la présence ou non d'un stimulus déclencheur. Or, il est possible qu'il n'y ait pas de stimulus présent pour l'anxiété chronique car sa présence n'a aucun rapport avec l'anxiété chronique (par exemple, elle pourrait être causée par une tare héréditaire). Les deux types d'anxiété pourraient avoir des causes distinctes. Il pourrait donc y avoir une différence qualitative entre l'anxiété normale et pathologique. De plus, il n'y a aucune analyse formelle du phénomène directement étudié, outre les deux lignes de (i) que nous venons de résumer. Par ailleurs, Kandel élimine toute référence au contexte théorique entourant les travaux des chercheurs qu'il cite, Sigmund Freud, William James et Charles Darwin, pour justifier l'importance de l'apprentissage

---

<sup>154</sup> Kandel, E.R. (1983). From metapsychology to molecular biology, p.1278.

<sup>155</sup> Kandel, E.R. (1983). From metapsychology to molecular biology, p.1278.

<sup>156</sup> Kandel, E.R. (1983). From metapsychology to molecular biology, p.1278.

<sup>157</sup> Kandel, E.R. (1983). From metapsychology to molecular biology, p.1278.

dans l'analyse de l'anxiété, comme s'ils n'avaient pas eux-mêmes chercher les causes de l'anxiété selon leurs propres principes de recherche.

Il établit alors un lien entre l'anxiété humaine et un modèle équivalent chez l'animal. (v) Un modèle de l'anxiété peut être développé sous forme d'apprentissage chez l'animal.<sup>158</sup> Il fait une analogie, basée sur l'augmentation de la réceptivité aux stimuli, sans tenir compte des symptômes subjectifs. (vi) Le chercheur peut observer l'anxiété d'anticipation et chronique chez les animaux.<sup>159</sup> Ici encore, la justification est fondée sur une analogie avec l'absence ou la présence d'un stimulus dans l'anxiété. (vii) Il y a un mécanisme universel d'apprentissage présent chez les animaux et les humains.<sup>160</sup> C'est le postulat clé. Il fait le lien entre les recherches sur l'anxiété humaine et son modèle animal.

Une fois la jonction posée entre l'anxiété humaine et son modèle expérimental chez l'animal, Kandel décrit les mécanismes neuraux sous-tendant ce modèle : ils sont représentés par la facilitation présynaptique. (viii) L'anxiété d'anticipation serait produite par le conditionnement classique ; l'anxiété chronique serait créée par la sensibilisation.<sup>161</sup> Cette supposition est justifiée par une similitude qualitative et surtout intuitive. (ix) Le conditionnement classique et la sensibilisation peuvent être expliqués par la facilitation présynaptique.<sup>162</sup> (x) La facilitation présynaptique est une conséquence des propriétés génétiques.<sup>163</sup> Les postulats (ix) et (x) sont établis sur les recherches personnelles d'Eric

---

<sup>158</sup> Kandel, E.R. (1983). From metapsychology to molecular biology, p.1279.

<sup>159</sup> Kandel, E.R. (1983). From metapsychology to molecular biology, p.1280.

<sup>160</sup> Kandel, E.R. (1983). From metapsychology to molecular biology, p.1282.

<sup>161</sup> Kandel, E.R. (1983). From metapsychology to molecular biology, p.1282 et 1290.

<sup>162</sup> Kandel, E.R. (1983). From metapsychology to molecular biology, p.1285 et 1290.

<sup>163</sup> Kandel, E.R. (1983). From metapsychology to molecular biology, p.1287.

Kandel. Il en arrive alors à une conclusion secondaire : (xi) un ensemble de troubles pathologiques, telle la schizophrénie ou la dépression, peut être expliqué par des propriétés génétiques.<sup>164</sup> Cette conclusion est basée sur une extrapolation très spéculative faite à partir de son modèle de l'anxiété. Il en arrive maintenant à sa conclusion principale. (xii) L'anxiété d'anticipation et l'anxiété chronique peuvent être expliquées par les propriétés génétiques de la facilitation présynaptique.<sup>165</sup>

Il est relativement facile de comprendre que la technique utilisée par Kandel pour réduire l'anxiété pathologique à un mécanisme neural ne figure pas dans les cinq modèles de réduction rapportés au premier chapitre. En effet, il ne fait pas référence à un ensemble cohérent de théories pour définir l'anxiété pathologique, préférant plutôt se baser sur une série de découvertes empiriques et d'analyses diverses, en faisant fi de tout contexte théorique, outre le sien. D'ailleurs, il n'y a pas de caractérisation formelle ou même précise du phénomène étudié. Aucune caractérisation de l'anxiété par les trois méthodes déjà décrites (anatomique, physiologique et neurochimique) n'est pas non plus proposée : il ne fait référence qu'à un contenu intuitif, rien de plus. Kandel se contente de construire une chaîne causale d'événements. La première étape est la description des propriétés génétiques. La seconde est la facilitation présynaptique. La troisième est la sensibilisation ou le conditionnement. La dernière étape renvoie aux effets comportementaux de cette dernière, à savoir les symptômes de l'anxiété.

---

<sup>164</sup> Kandel, E.R. (1983). From metapsychology to molecular biology, p.1288.

<sup>165</sup> Kandel, E.R. (1983). From metapsychology to molecular biology, p.1291.

Par ailleurs, il souligne lui-même que :

*« Thus, contrary to some expectations, biological analysis is likely to diminish the interest in mentation or to make mentation trivial by reduction. Rather, cell and molecular biology have merely expanded our vision, allowing us to perceive previously unanticipated interrelationships between biological and psychological phenomena. »*<sup>166</sup>

Il n'y a alors aucune volonté d'éliminer les sciences cognitives. Ce serait le cas, s'il proposait que les découvertes en sciences cognitives puissent être déduites des observations faites en neurosciences. Il pourrait aussi, par exemple, énoncer que leurs techniques sont simplistes, inutiles ou même accessoires. Au contraire, leurs méthodes se complètent.

Dans sa réduction, il y a une part intrinsèque d'élimination. Il procède à l'élimination du contexte théorique de tous les auteurs cités, sauf évidemment le sien. Il ne se préoccupe que de caractériser le phénomène étudié de la manière la plus expérimentale possible. Il ne tient compte que de ce qui peut avoir un effet direct sur la description empirique de l'objet d'étude. Par exemple, lorsque Kandel considère la théorie de Freud, il ne fait pas référence aux processus inconscients mais souligne plutôt le lien que le fondateur de la psychanalyse fait entre l'anxiété et l'apprentissage. Ainsi, les processus inconscients ne feraient pas partie des mécanismes élémentaires de l'apprentissage dans le cas de l'anxiété car ils n'influenceraient pas directement sa manifestation objective. Tout se passe comme si Freud et les autres chercheurs n'avaient pas réussi, par eux-mêmes, à expliquer fondamentalement l'anxiété chronique mais qu'ils avaient eu l'intuition de l'explication juste.

---

<sup>166</sup> Kandel, E.R. (1983). From metapsychology to molecular biology, p.1277.

Nous allons maintenant tenter de comprendre la place de la réduction et de l'élimination dans le matérialisme prôné par Kandel. Le principe de travail des sciences cognitives est d'observer finement les impacts des stimuli environnementaux sur les comportements d'un individu et d'en déduire la présence d'un processus cognitif. Ce processus cognitif explique donc le lien entre le stimulus et la réponse. Il y a réduction d'un processus non observable (processus cognitif) à un effet observé (changement comportemental). Pour sa part, Kandel tente de réduire des observations comportementales sur des mécanismes neuraux et pose, par extrapolation, le lien entre les mécanismes neuraux et les processus cognitifs. Il réduit alors l'observable (comportement) à l'observable (mécanismes neuraux) et en infère le non observable (processus cognitif) : il y a alors réduction selon sa démarche décrite au Chapitre 2 car il complète la description neurologique par une interprétation cognitive.

Par contre, il voudrait certainement éliminer les processus cognitifs qui n'ont pas d'influence sur le comportement. Il y a une réduction par inférence des processus cognitifs ayant un effet sur le comportement et une élimination de ceux qui n'en ont aucun. Dans un cas limite, il pourrait sûrement accepter de réduire un processus cognitif n'influençant pas directement le comportement mais dont le mécanisme neural est observé : il va sans dire qu'il faudrait expliquer les raisons de cette absence d'impact. L'important est donc d'observer empiriquement un changement matériel et de le comprendre.

Illustrons cette proposition : la perception de l'odeur d'un gâteau provoque chez un individu l'irruption de souvenirs (réminiscences) de certains événements reliés à son

enfance. Il y aura une influence des souvenirs sur le comportement présent s'il y a une diminution du niveau de concentration de l'individu sur la tâche effectuée et que cette diminution est mesurée par des manifestations comportementales comme, par exemple, l'observation que le regard de l'individu quitte l'objet qui attirait jusque là son attention. Le chercheur pourrait aussi observer l'arrivée de tics nerveux, tel un balancement continu du pied. Ces manifestations comportementales ne sont cependant pas nécessaires. Il doit pouvoir détecter, par des méthodes empiriques, un effet possible sur le comportement. En sciences cognitives, le chercheur pourrait mesurer cet effet par des mesures objectives de temps de réponse. Ainsi, ces temps de réponse pourraient être beaucoup plus courts pour des stimuli déclenchant ces souvenirs et beaucoup plus longs pour d'autres stimuli qui n'évoquent rien de significatif pour la personne. Par ailleurs, en faisant des tests de reconnaissance, cet individu serait plus susceptible de se tromper à propos de mots dont la connotation se rapproche de son souvenir comme prendre, par exemple, le mot « éléphant » pour le mot « enfant ». La liste des tests possibles pouvant démontrer que le comportement d'un individu est influencé par un souvenir pourrait s'allonger. Il est donc possible de mesurer l'effet de ce souvenir sur le comportement. Ces mesures sont obligatoires car il faut que le processus cognitif puisse avoir, au moins potentiellement, un effet sur le comportement, même minime.

Il faut noter que l'important est qu'il y ait une différence observable. Ainsi, si un chercheur mesure à l'aide du scanner de tomographie à émission de positrons (« *PET scan* ») un changement neural particulier sans qu'il n'y ait aucun changement comportemental perceptible, alors cette description correspond au schéma que nous venons de dé-

crire. La réponse comportementale est ainsi secondaire comparativement au changement neural.

Nous pouvons aussi faire une analogie avec un système informatique. Dans un tel système, il y a un support matériel composé de puces informatiques, de fils électriques, ainsi que plusieurs autres composantes, en plus des instructions (système d'exploitation, programmes, etc.) sur les transformations à effectuer à partir des informations reçues. Sans cette liste de règles, le système ne peut effectuer aucune tâche de transformation de l'information qu'il reçoit. Bref, il n'a aucune utilité. Lorsque l'informaticien introduit le programme dans le système informatique, celui-ci occasionne une série de transformations physiques. Si un individu voulait découvrir les instructions de ce programme sans avoir d'informations préalables, il devrait entrer certaines données et observer les réactions l'ordinateur sur les comportements des systèmes périphériques. Par la suite, l'individu devrait faire, à partir de ces observations, une inférence sur les instructions de ce programme, avec toute la marge d'erreur que cela suppose, les observations pouvant être faussées ou incomplètes. Il y a deux procédures, soit de dactylographier des mots sur le clavier et d'analyser les réactions des systèmes périphériques, tel l'écran ; le chercheur peut aussi regarder les composantes internes de l'ordinateur et les décrire minutieusement. Il peut finalement utiliser les deux méthodes en commun, c'est-à-dire dactylographier des mots sur le clavier et découvrir quels en sont les impacts sur les composantes matérielles du système, à partir de l'entrée de la donnée jusqu'à son arrivée à l'écran. Bien sûr, en pratique, la tâche peut s'avérer ardue...

Les processus cognitifs pourraient être perçus comme les règles d'un programme informatique : ils assurent que les composantes biologiques gèrent l'information introduite sous forme de stimuli perçus par les organes sensoriels. En analysant méticuleusement le comportement, le chercheur en sciences cognitives tente de découvrir les processus cognitifs qui provoquent ces modifications. Pour sa part, le chercheur en neurosciences tente de découvrir quelles sont les composantes matérielles de ce système et surtout la nature des liens qui permettent cette gérance du comportement. Kandel observe les effets sur les composantes biologiques de l'arrivée du stimulus jusqu'à son impact comportemental. Il utilise les sciences cognitives afin de définir et de comprendre avec exactitude l'influence des stimuli qu'il envoie sur le comportement. Les processus cognitifs font donc partie intégrante des comportements et des mécanismes neuraux. Ils donnent un sens, une direction, sans dépasser les comportements.

## **2 Discussion sur la validité de la technique de réduction**

Comme nous tentons de le démontrer, Kandel essaie de réduire le processus cognitif d'entreposage au mécanisme neural de la facilitation présynaptique selon une technique particulière. Cependant, cette dernière ne justifie pas la validité de la réduction.

Comme il est facile de constater, la technique utilisée par Kandel ne sert, au mieux, que de première approximation. Elle ne conduit pas à la validité de la réduction mais permet l'existence de nouvelles hypothèses qui se confirmeront ou non. Cette technique dépend donc de vérifications ultérieures. Dans ce sens, elle ne peut, en elle-

même, arriver à une validation, ce qui est l'un des objectifs des modèles cités plus hauts. Il ne faut donc pas comparer cette technique avec les modèles de réduction développés en philosophie. En effet, son résultat dépend entièrement d'une validation externe, se faisant essentiellement sur une base empirique.

Cependant, jusqu'à ce qu'il y ait une théorie scientifique unificatrice de l'ensemble des processus cognitifs en sciences cognitives, à l'image de la théorie de la gravitation universelle de Newton, il demeurera difficile de pouvoir appliquer un modèle de réduction formellement valide à ce domaine. Les certitudes théoriques précises en sciences cognitives sont malheureusement rares. En ce sens, la technique de réduction utilisée par Kandel est une tentative, certes maladroite, afin de contourner ces difficultés, mais elle offre un équilibre pragmatique entre l'élimination d'une théorie et son maintien intégral. En effet, les modèles actuels n'offrent que deux choix radicaux, soit le maintien intégral de l'ensemble des énoncés d'une science, même si certains de ceux-ci sont contradictoires, ou l'élimination métaphysique de l'une d'entre elles. L'approche décrite par Kandel fait preuve de plus de souplesse en permettant le choix de certains énoncés plus fondamentaux que les autres. Cela amène cependant, en apparence du moins, une part d'arbitraire qui apporte des difficultés quant à la formalisation d'une telle approche. En effet, comment le chercheur peut-il justifier son choix, autrement que par des arguments empiriques? Il faudrait alors trouver un autre modèle qui tient compte des contraintes inhérentes aux sciences cognitives.

\* \* \* \*

Les raisons permettant de comprendre le choix d'uniquement se concentrer sur une approche internaliste sont fort simples à comprendre du point de vue de Kandel : c'est la seule manière d'étudier empiriquement son objet de recherche avec une méthodologie scientifique solide. La justification du choix d'un tel radicalisme est donc essentiellement méthodologique. Dès lors, il est forcément très limité.

Il pourrait, par exemple, y avoir un effet d'émergence se dégageant de l'assemblage complexe des mécanismes de l'alphabet neural. L'émergence est d'ailleurs acceptée par certains philosophes, certains biologistes et même certains chercheurs en neurosciences<sup>167</sup> : il pourrait aussi y avoir un effet de survenance qui se dégage de la complexification. De plus, certains chercheurs en neurosciences adhèrent même à la notion d'intentionnalité, si importante pour certains philosophes.<sup>168</sup> Nous sommes d'avis que ce genre de phénomène devrait être découvert par les chercheurs en sciences cognitives et en neurosciences plutôt que d'être admis *a priori*. En effet, s'il y a survenance ou émergence, cela limite forcément l'objet d'étude des chercheurs en neurosciences et nous pensons que ces limites doivent être admises *a posteriori*.<sup>169</sup>

---

<sup>167</sup> Par exemple, Damasio, A.R. (1999). How the brain creates the mind, p.114.

<sup>168</sup> Voir, par exemple, Edelman, G.M. (1994). Biologie de l'esprit, p.14.

<sup>169</sup> Un exemple d'une telle possibilité est Bhalla, U.S. et Iyengar, R. (1999). Emergent properties of networks of biological signaling pathways.

## CONCLUSION

Kandel tente de réduire le processus cognitif d'entreposage au mécanisme de la facilitation présynaptique à l'aide de cinq principes généraux. Premièrement, ses recherches se font dans le cadre du monisme matérialiste et déterministe. Kandel n'utilise que les propriétés neurales pour expliquer le processus cognitif. Deuxièmement, l'apprentissage sert d'intermédiaire entre l'environnement et l'individu. C'est par l'entremise de cette capacité mnésique que l'organisme s'adapte à son environnement. Troisièmement, les comportements et les processus cognitifs proviennent d'interactions de différents comportements et processus cognitifs élémentaires. Ils forment l'alphabet comportemental et cognitif. Quatrièmement, il existe un petit nombre de mécanismes neuraux élémentaires sous-tendant tous les comportements et toutes les capacités cognitives élémentaires. Les mécanismes neuraux élémentaires sont universels, localisables dans un petit nombre de neurones et ils ne peuvent être ramenés à un autre mécanisme. C'est l'alphabet neural. Ces mécanismes ne se distinguent que par leurs caractéristiques anatomiques, physiologiques et chimiques. Finalement, les mécanismes élémentaires sont similaires chez tous les animaux, l'humain n'étant qu'un animal parmi d'autres.

Par contre, certains principes plus radicaux de Kandel sont discutés par les chercheurs en neurosciences. Les prétentions qui ont été remises en question sont celles où il prône l'existence d'un seul mécanisme neural élémentaire, en l'occurrence le sien, dans l'alphabet de l'apprentissage. En effet, les recherches ultérieures ont démontré que la facilitation présynaptique est un mécanisme fondamental de l'apprentissage mais qu'il en

existe probablement d'autres. Selon ces objections, la facilitation présynaptique est un mécanisme mnésique qui n'est certainement pas suffisant et peut-être même pas nécessaire. Les critiques portent donc sur son réductionnisme radical plutôt que sur l'importance de ses découvertes ou ses principes plus généraux. Ces derniers semblent alors être partagés par la majorité des chercheurs en neurosciences.

Dans sa description du lien entre le mécanisme neural de la facilitation présynaptique et le processus cognitif d'entreposage, Kandel tente d'établir une chaîne causale d'événements, à partir de l'influence de l'apprentissage sur les propriétés génétiques jusqu'à ses modifications comportementales. Nous pouvons représenter alors les liens entre les travaux des sciences cognitives et des neurosciences par l'hypothèse deux niveaux distincts de description. Le premier niveau est la description « pure » des éléments composant l'ontologie de l'objet d'étude, les propriétés neurales : c'est le niveau métaphysique. Le second niveau est l'interprétation de ces éléments par l'entremise de processus cognitifs : c'est le niveau épistémologique. Ce faisant, il élimine tout processus cognitif qui ne peut être exprimé sous forme de mécanismes neuraux. Certains choix doivent donc être faits dans l'ensemble des théories des sciences cognitives afin de départager celles qui peuvent être représentées par des propriétés neurales et celles qui ne le peuvent pas. À cause de la présence possible d'arbitraire dans ce choix, cette technique ne conduit alors pas nécessairement à la validité de la réduction. En ce sens, elle ne se compare pas aux modèles de réduction développés en philosophie qui tentent de décrire des conditions formelles de réduction.

Appliquons une technique de réduction semblable aux autres processus cognitifs. Ces processus peuvent être entièrement représentés par des mécanismes neuraux élémentaires fonctionnant, habituellement, en interactions continues : il n'y a aucune étape psychologique nécessaire. Il n'existe alors aucune corruption des neurosciences en provenance de la psychologie ou de la philosophie. Par ailleurs, à cause de son intérêt pour les transformations de l'information occasionnées par les mécanismes neuraux, cette démarche se distingue fondamentalement du béhaviorisme.

Comme il y a un principe de continuité phylogénétique entre tous les animaux, le chercheur peut étudier, dans certaines limites, le système nerveux d'animaux plus « simples » afin de caractériser les mécanismes neuraux élémentaires d'un processus cognitif chez l'humain.

Le mécanisme neural élémentaire d'un processus cognitif se décrit selon trois caractéristiques fondamentales. La première est son site dans le système nerveux central. La deuxième consiste dans la détermination de la présence d'activités à cet endroit lorsque l'influence du processus cognitif est observée. La troisième est la détermination du type d'activités qui s'y déroule. Il serait donc possible de déterminer la région précise du système nerveux central (anatomie) qui fonctionne (physiologie) par échange de différents neurotransmetteurs (chimie) lorsque le chercheur observe l'influence du processus cognitif sur le comportement.

Les plus récentes études en neurosciences poursuivent d'ailleurs cette démarche en l'appuyant sur des données morphologiques et physiologiques de plus en plus solides quant à la localisation des mécanismes neuraux.<sup>170</sup> Le cadre méthodologique de Kandel semble donc être encore très utilisé et ses résultats sont fructueux, tant d'un point de vue empirique que théorique. Antonio R. Damasio avance même qu'il n'y a plus de doutes sur la possibilité d'expliquer entièrement l'apprentissage par des mécanismes neuraux.<sup>171</sup> Bien sûr, les processus mnésiques font partie de l'esprit. La généralisation de ces découvertes sur l'esprit semble ainsi évidente pour les chercheurs en neurosciences.<sup>172</sup>

Nous pouvons faire un portrait de ce que serait l'esprit selon Kandel. Dans ce cadre, l'esprit est un ensemble de processus cognitifs fonctionnant en interactions continues. Il serait alors représenté par une mosaïque de mécanismes neuraux élémentaires. Les processus cognitifs formant l'esprit pourraient alors faire partie intégrante des mécanismes neuraux ou n'être que des hypothèses nécessaires à la compréhension du comportement. Leur statut demeure incertain.

Afin d'illustrer une telle vision du lien entre les processus cognitifs et les mécanismes neurologiques, notons que cette relation serait semblable à celle qui existe actuelle-

---

<sup>170</sup> Brewer, J. *et al* (1999). Making memories : brain activity that predicts how well visual experience will be remembered ; Wagner, A.D. *et al* (1999). Building memories : remembering and forgetting of verbal experiences as predicted by brain activity ; Maletic-Savetic, M., Malinow, R. et Svoboda, K. (1999). Rapid dendritic morphogenesis in CA1 hippocampal dendrites induced by synaptic activity ; Anderson, P. (1999). A spine to remember ; Engert, F. et Bonhoeffer, T. (1999). Dendritic spine changes associated with hippocampal long-term synaptic plasticity.

<sup>171</sup> Damasio, A.R. (1999). How the brain creates the mind, p.112.

<sup>172</sup> Voir, par exemple, Edelman, G.M. (1994). La biologie de la conscience ; Damasio, A.R. (1999). How the brain creates the mind.

ment entre l'informatique et les mathématiques ainsi que la logique. L'informatique est entièrement réductible à la logique et aux mathématiques, lesquels expliquent les règles fondamentales de programmation. Il n'est cependant pas nécessaire de comprendre avec précision les mathématiques pour programmer un système informatique. Dans les faits, l'informatique est pour les informaticiens une science presque autonome face aux mathématiques. De plus, si un individu regarde un jeu vidéo et qu'il se fie uniquement à la forme des éléments présentés (couleurs, courbes, personnages, expressions des personnages, paysages, etc.), l'individu pourrait croire à l'impossibilité de les réduire à des concepts mathématiques. Cette réduction n'est cependant pas contestée dans les faits car l'origine des programmes est connue de tous depuis longtemps.

Les processus cognitifs pourraient alors être analogues aux instructions d'un programme informatique car elles instaurent la manipulation de l'information représentée par des échanges d'influx électriques provenant des puces d'un microprocesseur. Le travail du chercheur en sciences cognitives pourrait être comparable au fait de dactylographier certaines instructions et d'identifier, à partir des réactions observées sur les composantes périphériques du système informatique étudié, les règles qui gèrent le microprocesseur. L'activité des chercheurs en neurosciences serait voisine de l'étude des composantes matérielles du système informatique. En ce sens, une combinaison de ces deux méthodes pourrait être l'analyse du parcours matériel d'une instruction dactylographiée, à partir de son entrée au clavier jusqu'à son influence sur les composantes périphériques du système informatique étudié. Cette combinaison se comparerait au projet d'Eric Kandel.

Avec cette hypothèse de réduction, nous perdons l'intuition du sens commun, *folk psychology*. Nous ne pouvons pleinement comprendre un processus cognitif sans connaître ces mécanismes neuraux pour la même raison que nous ne pouvons comprendre le fonctionnement précis de la mécanique céleste par la seule intuition : il faut connaître leurs éléments constitutifs. Les chercheurs en neurosciences accepteraient donc, avec Patricia Smith Churchland, que la connaissance de l'esprit basée sur l'intuition ne doit pas être considérée dans la réduction entre les sciences cognitives et les neurosciences.<sup>173</sup>

L'apprentissage est le fait qu'il y ait modification du système neural. Il est donc possible qu'il y ait une transformation continue du système neural de sorte qu'il n'y ait aucun étalon fixe de comparaison. Le chercheur ne pourrait ainsi jamais juger avec certitude de la nature du changement et de sa présence ultérieure ou postérieure. Il y aurait donc une incertitude fondamentale quant à l'existence des mécanismes neuraux eux-mêmes. Il se pourrait que, *a priori*, il y ait une impossibilité de prédire le fonctionnement des neurones.

Cependant, les neurosciences ne doivent pas adopter des standards différents des autres sciences de la nature. Ainsi, il existe en physique des impossibilités prédictives et des approximations qui suffisent à démontrer qu'il n'y a que des relations causales dans le système étudié. Pour illustrer cette possibilité, prenons l'exemple de la gravitation dans un système à *n-tuplet* de corps : il n'y a pas de solution mathématique permettant de décrire les trajectoires des objets de ce système où plus de deux corps s'attirent mutuelle-

---

<sup>173</sup> Churchland, P. S. (1986). *Neurophilosophy*, p. 295-313.

ment. La loi de la gravitation universelle de Newton ne permet que de calculer les interactions entre deux corps. Mathématiquement, il n'existe pas de solution exacte et générale à ce problème dit des « n corps ». C'est Henri Poincaré qui a déterminé que cette impossibilité provient du fait que d'infimes différences dans les positions initiales des corps provoquent des trajectoires totalement différentes.<sup>174</sup> Il est alors impossible de faire des prédictions sur les trajectoires. Cependant, *a posteriori*, le chercheur peut expliquer le comportement du système uniquement à l'aide de la force gravitationnelle. De plus, il existe des modèles pragmatiques permettant de faire des prédictions, ou plus justement des estimations, à court terme (quelques centaines d'années), sans rendre possible des prédictions à long terme.<sup>175</sup> Pour évaluer les orbites des planètes du système solaire, le chercheur doit donc nécessairement estimer les influences des autres planètes de manière heuristique. Il n'y a, cependant, personne qui discute de l'irréductibilité des phénomènes célestes à la théorie de la gravitation universelle sur ce seul point. Les exigences causales seraient donc satisfaites de la même manière en neurosciences s'il y avait une explication complète *a posteriori* faisant uniquement intervenir des relations causales entre les neurones et permettant de faire des prédictions relativement vérifiées.<sup>176</sup>

Prenons un exemple plus près de nous : regardons un groupe de personnes. Même si nous connaissons bien tous les gens qui la compose, il s'avère impossible de faire des prédictions précises sur l'évolution des interactions de ce groupe car il y a trop

---

<sup>174</sup> Bourdial, I. (1998). Les mathématiciens enfilent des perles, p. 16.

<sup>175</sup> De La Taille, R. (1998). L'insoluble problème des trois corps, p.85.

<sup>176</sup> Voir par exemple, Brewer, J. *et al* (1999). Making memories : brain activity that predicts how well visual experience will be remembered : Wagner, A.D. *et al* (1999). Building memories : remembering and forgetting of verbal experiences as predicted by brain activity.

de variations possibles. Cela dit, à partir d'une observation fine *a posteriori*, il est possible de comprendre l'évolution des interactions de cette foule, à partir des influences causales des individus (c'est-à-dire sans l'aide d'autres forces d'origine inconnue). Connaissant les personnes, nous pourrions aussi faire des prédictions ponctuelles, relativement justes, sans pouvoir entièrement déterminer, au préalable, tous les événements qui se dérouleront. Retournons à Kandel.

La démarche de Kandel est strictement matérialiste bien que sa volonté soit d'étudier les processus cognitifs. Les justifications de ses principes métaphysiques sont essentiellement méthodologiques. Elles sont cependant peu intéressantes pour les philosophes car elles laissent place à une multitude de questions. Quelle est la nature des processus cognitifs gérant les mécanismes neuraux? S'ils sont immatériels, alors comment influencent-ils le comportement? S'ils sont matériels, quels sont-ils? Quel est leur lien avec le comportement? Les chercheurs peuvent-ils les observer? Ont-ils une utilité? Sont-ils intégrés aux composantes corporelles selon un projet quelconque? Qui en serait l'auteur? Toutes ces questions se rapportent à la nature des processus cognitifs et au statut des liens qu'ils ont avec le système nerveux central. La réponse à ces questions semble difficile à établir dans le cadre strict des neurosciences.

Il faut aussi saisir la nature des liens entre les processus cognitifs, leurs mécanismes neuraux et leurs manifestations comportementales. Nous savons que ce lien n'est pas une relation d'identité au sens logique du terme car les deux niveaux de description, neural et cognitif, possèdent des propriétés fondamentalement différentes. Or, cette relation

existe selon les neurosciences. Nous pouvons prendre l'analogie de la voiture. Il y a forcément un lien entre les propriétés de fonctionnement des composantes du moteur (pistons, alternateurs, etc.) et les propriétés de la performance qu'un observateur neutre note lorsque la voiture est en marche (vitesse, maniabilité, etc.). Quelle est la nature de ce lien?

Il est assez curieux qu'à partir d'un questionnement sur la nature d'un lien et de ses entités, provenant d'une démarche de réduction entre les sciences cognitives et les neurosciences, nous en arrivons aux éternelles questions posées par les philosophes. Historiquement, Aristote, Descartes, Kant, et bien d'autres, ont proposé des solutions à ses problèmes après avoir fait leur propre analyse des découvertes scientifiques de leur époque. Ces solutions ne semblent cependant pas s'appliquer au cas particulier de la relation entre les sciences cognitives et les neurosciences. Il faut alors user d'imagination et poursuivre les réflexions afin de déterminer la nature de l'esprit, à la fois d'un point de vue métaphysique et empirique.

## BIBLIOGRAPHIE

- Abraham, W.C. et Goddard, G.V. (1984). Functions of afferent coactivity in long-term Potention. Dans McGaugh, J.L., Weinberger, N.M. et Lynch, G. (éds.). *Neurobiology of learning and memory*. New York : Guilford. 459-465.
- Allport, S. (1986). *Explorers of the black box*. New York : Norton.
- Anderson, P. (1999). A spine to remember. *Nature*, 6731(399). 19-21.
- Armstrong, D.M. (1989). Mind-body problem : philosophical theories. Dans Gregory, R.L.(éd.). *The oxford companion to the mind*. Oxford, NY : Oxford university press. 490-491.
- Baddeley, A. (1990). *Human memory theory and practice*. Needham Heights, MA : Allyn and Bacon.
- Bailey, C.H. et Chen, M. (1990). Morphological alterations at identified sensory neuron synapses during long-term sentization in aplysia. Dans Squire, L.R. et Lindenlaub, E. (éds.). *The biology of memory*. Schattauer-Verlag. 135-154.
- Bailey, C.H. et Kandel, E.R. (1995). Molecular and structural mechanisms underlying long-term memory. Dans Gazzaniga, M.S. (éd.). *The cognitive neurosciences*. Cambridge, MA : Bradford books, MIT press. 19-36.
- Bhalla, U.S. et Iyengar, R. (1999). Emergent properties of networks of biological signaling pathways. *Science*, 283. 381-387.
- Bonnevac, D.A. (1982). *Reduction in the abstracts sciences*. Indianapolis, IN : Ridgeview. 7-59.
- Bourdial, I. (1998). Les mathématiques enfilent des perles. *Science et vie*, 974. 16.
- Brewer, J.B., Zhao, Z., Desmond, J.E., Glover, G.H. et Gabrieli, J.D.E. (1998). Making memories : brain activity that predicts how well visual experience will be remembered. *Science*, 281. 1185-1187.
- Brooks, D.H.M. (1994). How to perform a reduction. *Philosophy and phenomenological research*, 54 (4). 803-814.
- Byrne, A. (1994). Behaviorism. Dans Guttenplan, S. (éd.). *A companion to the philosophy of mind*. Oxford, GB : Blackwell. 132-140.
- Castellucci, V.F. et Kandel, E.R. (1974). A quantal analysis of the synaptic depression underlying habituation of the gill-withdrawal reflex in aplysia. *Proceedings of the national academy of science*, 71. 5004-5008.

Carew, T.J., Hawkins, R.D. et Kandel, E.R. (1983). Differential classical conditioning of a defensive withdrawal reflex in *aplysia californica*. *Science*, 219. 397-400.

Carew, T.J., Marcus, E.A., Nolen, T.G., Rankin, C.H. et Stopfer, M. (1990). The development of learning and memory in *aplysia*. Dans McGaugh, J.L., Weinberger, N.M. et Lynch, G. (éds.). *Brain organisation and memory : cells, systems and circuits*. Oxford, NY : Oxford university press. 27-51.

Carlson, N.R. (1987). *Physiology of behavior third edition*. Newton, MA : Allyn and Bacon.

Churchland, P. M. (1984). *Matter and consciousness a contemporary introduction to the philosophy of mind*. Cambridge, MA : Bradford books, MIT press.

Churchland, P.M. (1989). *A neurocomputational perspective the nature of mind and the structure of science*. Cambridge, MA : Bradford Book, MIT press.

Churchland, P.M. et Churchland, P.S. (1992). Intertheoretic reduction : a neuroscientist's field guide. Dans Churchland, P.S. et Christen, Y. P. (éds). *Neurophilosophy and Alzheimer's disease*. New York : Springer-Vergas.

Churchland, P.S. (1986). *Neurophilosophy toward a unified science of the mind/brain*. Cambridge, MA. : Bradford Book, MIT press.

Churchland, P.S. (1992). Reductionism and antireductionism in functionalist theories of mind. Dans Baekley, B. et Ludlow, P. (éds.). *The philosophy of mind (2<sup>e</sup>éd.)*. Cambridge, MA : Bradford Book, MIT press. 59-65.

Churchland, P.S. (1996). Toward a neurobiology of mind. Dans Llinàs, R. et Churchland, P.S. (éds.). *The mind-brain continuum sensory process*. Cambridge, MA : Bradford book, MIT press. 281-300.

Colebrook, E. et Luckowiak, K. (1988). Learning by the *aplysia* model system : lack of correlation between gill and gill motor neurone responses. *Journal of experimental biology*, 135. 411-429.

Crane, T. (1994). Physicalism (2). Dans Guttenplan, S. (éd.). *A companion to the philosophy of mind*. Oxford, GB : Blackwell. 479-484.

Damasio, A.R. (1999). How the brain creates the mind. *Scientific american*, 281. 112-117.

DeGranpre, R.J. (1999). Just cause?. *The sciences, Mars/avril*. 14-18.

De Waal, F.B.M. (1999). The end of nature versus nurture. *Scientific american*, 281. 94-99.

- Edelman, G.M. (1994). *Biologie de la conscience*. Traduction par Gerschenfeld, A. de Bright air, brilliant fire : on the mather of mind (1992). Paris : Odile Jacob.
- Engert, F. et Bonhoeffer, T. (1999). Dentrtric spine changes associated with hippocampal long-term synaptic plasticity. *Nature*, 6731 (399). 66-70.
- Fetzer, J.H. et Almeder, R.F. (1993). Glossary of epistemology / philosophy of science. New York : Paragon house. 38-39.
- Feyerabend, P.K. (1963). Comment : mental events and the brain. *Journal of philosophy*, 60. 295-296.
- Fischbach, G.D. (1992). Mind and brain. *Scientific american*, 267. 48-57.
- Glanzman, D.L., Kandel, E.R. et Schacher, S. (1990). Target-depender structural changes accompanying long-term synaptic facilitation in aplysia neurons. *Science*, 249. 799-802.
- Glymour, C. (1970). On some patterns of reduction. *Philosophy of science*, 37. 340-353.
- Goelot, P., Castellucci, V., Schacher, S. et Kandel, E.R. (1986). The long and short of long-term memory. *Nature*, 322. 419-422.
- Gold, I. et Stoljar, D. (1997). Is there a science of the brain? (pré-publication). 1-58.
- Habib, M. (1993). *Bases neurologiques des comportements* (2<sup>e</sup> éd.). Paris : Masson.
- Hogan, T. (1994). Physicalism (1). Dans Guttenplan, S. (éd.). *A companion to the philosophy of mind*. Oxford, GB : Blackwell. 471-479.
- Hubbel, D.H. (1979). The brain. *Scientific american*, 241. 45-53.
- Jacquette, D. (1994). *Philosophy of mind*. Englewood Cliffs, New Jersey : Practice-Hall.
- Julia, D. (1991). *Dictionnaire de la philosophie*. Paris : Larousse.
- Kandel, E. R. (1976). *Cellular Basis Of Behavior*. San Fransisco : Freeman.
- Kandel, E.R. (1979). Cellular insights into behavior and learning. *The harvey luctures*, 73. 19-92.
- Kandel, E.R. (1979). Smalls systems of neurons. *Scientific american*, 241. 67-76.
- Kandel, E.R. et Schwartz, J.H. (1981). *Principles of neural science* (1<sup>e</sup> éd.). New York : Elsevier.

- Kandel, E.R. et Schwartz, J.H. (1982). Molecular biology of learning : modulation of transmitter release. *Science*, 218. 433-443.
- Kandel, E.R. (1983). From metapsychology to molecular biology : explorations into the nature of anxiety. *American journal of psychiatry*, 140. 1277-1293.
- Kandel, E.R. (1984). Steps toward a molecular grammar for learning : explorations into the nature of memory. Dans Isselbacher, K.J. (éd.). *Medecine, science and society*. New York : Wiley. 555-604.
- Kandel, E.R. et Schwartz, J.H. (1985). *Principles of neural science* (2<sup>e</sup> éd.). New York : Elsevier.
- Kandel, E.R., Schwartz, J.H. et Jessel, T.M. (1991). *The principles of neural science* (3<sup>e</sup> éd. rév.). New York : Elsevier.
- Kandel, E.R. et Hawkins, R.D. (1992). The biological basis of learning and individuality. *Scientific american*, 267. 78-87.
- Kemeny, J.G. et Oppenheim, P. (1956). On reduction. *Philosophical studies*, 7. 6-17.
- Kempermann, G. et Gage, F.H. (1999). New nerve cells for the adult brain. *Scientific american*, 280. 48-53.
- MacLelland, J.L. et Rumelhart, D.E. (1981). An interactive activation model of the effect of context in letter appreciation. Part I. An account of basic findings. *Psychological review*, 88. 375-407.
- Madell, G. (1988). Behaviorism (chapitre 19). Dans Parkinson, G.H.R. (éd.). *An encyclopedia of philosophy*. Londres : Routledge. 427-440.
- Maletic-Savatic, M., Malinow, R. et Svoboda, K. (1999). Rapid dendritic morphogenesis in CA1 hippocampal dendrites induced by synaptic activity. *Science*, 283. 1923-1927.
- Milner, B., Squire, L.R. et Kandel, E.R. (1998). Cognitive neuroscience and the study of memory. *Neuron*, 20 (3). 445-468.
- Nagel, E. (1961). *The structure of science ; problems in the logic of scientific explanation*. New York : Harcour, Brace, and the world.
- Nelson, R.J. (1969). Behaviorism is false. *Journal of philosophy*. 66 (14). 417-453.
- Puntel, L.B. (1991). Reductionnism. Dans Burkhardt, H. et Smith, B. (éds). *Handbook of metaphysics and ontology volume 2 L-Z*. Munich : Philosophia verlag. 763-765.

- Rankin, C.H. et Carew, T.J. (1987). Development of learning and memory in aplysia. II. Habituation and dishabituation. *The journal of neuroscience*, 7 (1). 133-143.
- Rayport, S.G. et Schacher, S. (1986). Synaptic plasticity *in vitro* ; cell culture of identified aplysia neurons mediating short-term habituation and sensitization. *Journal of neuroscience*, 6. 759-763.
- Rose, S.P.R. (1981). What should biochemistry of learning and memory be about?. *Neuroscience*, 6 (5). 811-821.
- Rose, S.P.R. (1992). *The making of memory*. New York : Anchor books, Double day.
- Rosenfield, I. (1994). *L'invention de la mémoire le cerveau, les données*. Traduction par Cismaresco, S.A. de *The invention of memory, a new view of the brain* (1988). Paris : Flammarion.
- Sklar, L. (1967). Types of inter- theoretic reduction. *British journal for the philosophy of science*, 18. 109-124.
- Sweatt, D.J. et Kandel, E.R. (1989). Persistent and transcriptionally-dependent increase in protein phosphorylation in long-term facilitation of aplysia sensory neurons. *Nature*, 339. 51-54.
- Tilquin, A. (1942). *Le behaviorisme : origine et développement de la psychologie de réaction en Amérique*. Paris : Vrin. 13-29.
- Van Der Linden, M. (1989). *Les troubles de la mémoire*. Bruxelles : Pierre Mardaga éditeur.
- Wagner, A.D., Schacter, D.L., Rotte, M., Koutstaal, W., Maril, A., Dale, A.M., Rosen, B.R. et Buckner, R.L. (1998). Building memories : remembering and forgetting of verbal experiences as predicted by brain activity. *Science*, 281. 1188-1191.
- Walters, E.T. et Byrne, J.H. (1983). Associative conditioning of single sensory neurons suggests a cellular mechanism for learning. *Science*, 219. 405-408.