

Revue Internationale de

ISSN 0980-1472

systemique

Vol. 4, N° **3**, 1990

afcet

Dunod

AFSCET

Revue Internationale de
systemique

Revue
Internationale
de Sytémique

volume 04, numéro 3, pages 363 - 374, 1990

Du béhaviorisme au connexionisme :
une continuité épistémologique

Mario Horenstein

Numérisation Afcset, janvier 2016.



Creative Commons

A cet optimisme un peu facile, on objectera sans doute que depuis un siècle, nous avons perdu quelques illusions sur l'aptitude de la connaissance et de l'éducation à procurer automatiquement la sagesse. Mais à défaut de condition suffisante peut-on penser au moins qu'il s'agit d'une condition facilitante.

(2) *Pour les organisations.* Leur problème est à peu près toujours de mobiliser des hommes sur des objectifs communs. Le plus souvent, ce problème est abordé dans une optique pavlovienne : trouver le stimulus (rémunération, intéressement, promotion, honneurs, etc.) qui permettra d'obtenir la réaction appropriée. Or, prétendre « motiver » les hommes de cette manière revient à les considérer comme des ânes : il s'agit en effet de rechercher le type de carotte (ou de bâton) qui, agité devant leur nez, les fera avancer dans le sens voulu. Une telle démarche présente un caractère réductionniste jusqu'à la caricature. On veut trouver une recette de circonstance qui évitera de s'interroger plus avant sur la complexité du phénomène et les rapports subtils entre projet individuel et action collective.

Dans ces conditions, on conçoit le peu d'efficacité des pratiques mises en œuvre, rapidement destinées, s'il s'agit de l'entreprise, à rejoindre l'immense cimetière des gadgets en management.

Motiver, au sein d'une organisation, exige de considérer le processus dans son ensemble, avec ses interdépendances et ses effets paradoxaux. Cela se ramènera de plus en plus à un travail d'artisan, traitant en surmesure une série de cas singuliers. Pour l'organisation, le problème sera alors de disposer du réseau de responsables capables de jouer un tel rôle.

Références

- [1] Dans tout ce qui suit, nous faisons d'abondants extraits des travaux de la « Société internationale de Recherche Interdisciplinaire sur la Communication » (SIRIC) dans *Communication et Manipulation* (éditions Empirika) et de la « Société Internationale de Recherche Interdisciplinaire sur la Maladie » (SIRIC dans *Alors survient la maladie* (éditions Empirika) qui s'inspirent toutes les deux des apports de Henri Laborit.
- [2] Abraham MASLOW, *Motivation and personality*, New York, Harper et Row.
- [3] Konrad LORENZ, *Essais sur le comportement animal et humain*, Ed. du Seuil, Paris.
- [4] Frédéric HERZBERG, *Le travail et la nature de l'homme*, Entreprise moderne d'édition.
- [5] André DANZIN, La « Culture » conçue comme le produit d'un système expert, *Rev. Intern. Systémique*, 1, 1, 1987.
- [6] Henri LABORIT, *Dieu ne joue pas aux dés*, Grasset, Paris.

DU BEHAVIORISME AU CONNEXIONISME : UNE CONTINUITÉ ÉPISTÉMOLOGIQUE

M. HORENSTEIN

Institut National Marcel-Rivière ¹

Résumé

La révolution cognitive a eu le mérite d'entreprendre l'opérationnalisation de l'activité mentale, mais des formalismes de Chomsky au « langage de la pensée » de Fodor, on retrouve le désir de se débarrasser de 50 années de recherches behavioristes. Or, une des fonctions que l'on est en droit de demander à un modèle est de permettre l'accumulation des connaissances. Un des attraits du connexionisme consiste précisément à nous aider à comprendre comment passer de la relation élémentaire et passive (du behaviorisme) entre un stimulus et une réponse, à un processus complexe, orienté par la dynamique propre du système, mais toujours modulé par l'environnement ; comment construire du cognitif sans présupposer l'existence de structures abstraites inconscientes de règles logiques, et comment construire, à travers l'apprentissage, des représentations symboliques à partir d'informations non symboliques.

Abstract

The cognitive revolution can be credited with operationalizing mental activity but, from the formalism of Chomsky to the "language of thought" of Fodor, we find the desire to throw out 50 years of behaviorist research. Now, one of the duties that we are obligated to demand of a model is to permit the accumulation of knowledge. One of the attraction of connectionism consists precisely in helping us to understand how to pass from the elementary and passive relation (of behaviorism) between a stimulus and a response, to a complex process, oriented by the very dynamics of the system, but always modulated by the environment ; how to construct cognition without presupposing the existence of abstract structures unconscious of logical rules ; and how to construct, through learning, symbolic representations from non-symbolic information.

1. Institut Marcel Rivière, Département des Thérapies comportementales, 152, avenue de Wagram, 75017 Paris.

1. Introduction

Dans l'histoire des idées il est courant que deux théories soient renvoyées dos à dos afin d'en imposer une troisième. Par exemple, depuis les années 50, le cognitivisme tente de s'imposer, en remplaçant psychologie introspective et behaviorisme. Ceci serait resté une affaire interne à la psychologie si le cognitivisme ne tendait pas, au moins aux yeux de certains, à dépasser le cadre de la psychologie et à s'identifier aux sciences de la cognition. La littérature sur ce dernier thème est émaillée de critiques du behaviorisme (ce terme est d'ailleurs devenu, au fil des années, une sorte d'injure disqualifiant ceux qui s'écartent de l'orthodoxie cognitiviste). Dans un programme d'enseignement des sciences de la cognition, par exemple, on peut lire « Perspective historique, avec comme points de repère : le *passage*, en psychologie, du behaviorisme au cognitivisme, ..., la révolution de Chomsky en linguistique, etc. » (*Bulletin de l'A.R.C.*, 1987). Ce « passage » est justifié de façon prototypique comme suit : « Prenez une réception d'une vingtaine d'invités. Vous voulez expliquer les réactions des uns et des autres devant un plat de foie gras. Les behavioristes voudraient trouver une relation entre la réponse de l'organisme (la quantité de nourriture qu'il va ingérer) et une configuration stimulante, par exemple le temps depuis lequel l'organisme n'a pas ingéré de nourriture, la quantité d'effort qu'il a fourni dans l'intervalle ou celle qu'il devrait fournir pour se procurer de la nourriture ».

Après cette énumération où derrière l'ironie se cache en fait une méconnaissance des principes behavioristes et notamment des différences entre contingences actuelles et contingences historiques (Zuriff, 1985), l'auteur conclut : « Les intentions, les désirs et les croyances sont bien plus efficaces pour rendre compte de l'attitude des vingt invités » (Mehler, 1987). Il adhère ainsi à la profession de foi fodorienne : « L'explication des conduites repose sur le lien qui unit les individus aux propositions ». Est-il indispensable d'y adhérer pour ne pas être exclu des sciences de la cognition ?

Un autre type de critique du behaviorisme peut se résumer ainsi : « puisque c'est simple, c'est nécessairement faux » ; par exemple, on peut lire : « De sorte qu'à une chaîne de causalités simples (il s'agit de l'approche behavioriste), il faut en substituer une autre, plus complexe, où chaque réponse est susceptible de devenir à son tour stimulus, dans une série d'interactions enchevêtrées, dont les rapports sont analogues à ceux unissant l'œuf à la poule » (Lanteri-Laura, 1988).

Il ne s'agit pas ici de promouvoir, à l'instar de la mode rétro, un retour à Watson, mais de repérer dans l'hétérogénéité des idées behavioristes, qui provoquent tant de critiques, celles qui devraient avoir un rôle dans les sciences de la cognition.

2. Cybernétique et behaviorisme

Il est à mettre à l'actif de la cybernétique le projet de formalisation logico-mathématique de la pensée. Les calculs à « l'intérieur de la boîte noire » étaient, pour certains des premiers cyberneticiens, liés au niveau neuronal, ce que reprend le néo-connexionisme actuel ; pour d'autres, ils étaient liés au psychologique. Ceci est repris par le cognitivisme qui postule l'autonomie des représentations mentales. Enfin, pour l'intelligence artificielle le problème des contraintes neurologiques ne se pose pas. Essayer de formaliser la pensée a ainsi conduit à ces différents champs conceptuels qui, tout en critiquant le behaviorisme, sont incapables de s'en débarrasser complètement.

Les relations complexes entre behaviorisme et cybernétique apparaissent notamment dans l'article de J.-P. Dupuy (1985) consacré à la première cybernétique. Par exemple, bien que Wiener critique le contrôle de « l'output » par « l'input » postulé par les behavioristes et y ajoute le concept de feedback, il est proche du behaviorisme dans sa critique du mentalisme (qui aurait très bien pu être signée par Watson) ; pour Wiener, comme pour les behavioristes, ce qui est pertinent, c'est le comportement, « ce qui se passe dans la tête » n'étant pas mesurable.

Au behaviorisme radical de Skinner (qui, en dépit de ce qui est souvent écrit, n'évacue pas les phénomènes internes, « le sujet », mais ne lui accorde aucun statut spécifique par rapport aux phénomènes observables) est associé un « behaviorisme à l'intérieur de la tête » encore plus radical, celui de W. McCulloch. Ici, ce n'est plus le sujet qui est en relation avec l'environnement, mais son réseau de neurones. Nul besoin du concept de sujet pour interpréter les processus cérébraux (la dynamique du réseau) dans la mesure où il y a équivalence entre eux et les opérations logiques (l'esprit). Il faut remarquer que l'ordinateur nous a familiarisé avec l'idée qu'il peut y avoir traitement de l'information interne, sans expérience subjective, c'est-à-dire en l'absence de sujet. McCulloch, comme les behavioristes, s'intéresse aux comportements, mais il s'agit pour lui du comportement du réseau de neurones. Dès 1948, au sein du mouvement cybernétique, McCulloch sera critiqué, et accusé au même titre que les behavioristes, d'être mécaniste, associationniste et réductionniste. Il va falloir attendre 30 ans pour que la psychologie et les neurosciences reprennent les anciennes idées de McCulloch. C'est, en effet, le

comportement des réseaux de neurones et non pas le comportement des organismes comme un tout, qui intéresse ses héritiers (les néo-connexionistes). Dans les deux cas (réseau de neurones ou organisme), « l'organisation interne » n'est pas prise en compte. Pour les néo-connexionistes, il s'agit aussi de faire de la psychologie (et non pas de la physiologie), mais à partir d'objets formels ou technologiques — ce qu'on peut qualifier, en quelque sorte, de *behaviorisme de l'esprit*, par opposition au « mentalisme » du fonctionnalisme.

3. Automates et théorie S-R

3.1. Polémique Nelson-Suppes

En 1969 R. J. Nelson déplore l'anachronisme d'une « connaissance scientifique élaborée en termes d'observation et avec le vocabulaire de la logique et des mathématiques » (Nelson, 1969). Cette critique qui aurait pu s'appliquer aux réseaux de neurones formels, s'adresse au behaviorisme. Pour montrer les insuffisances d'une méthode qui ne théorise que ce qui est observable, sans tenir compte des états internes du système observé, il se fonde sur la théorie des automates. Ces systèmes, formalisés de façon précise, permettent de tester la démarche behavioriste. Pour Nelson, l'objectif de cette démarche est de « forcer la relation (entre entrée et sortie) à être une fonction (autrement dit, trouver une loi) sans avoir recours à des états internes ». Il ne critique pas, contrairement à d'autres, l'incapacité de cette démarche à déterminer l'origine du comportement, puisqu'il convient qu'on puisse prédire et contrôler ce comportement sans faire appel à des causes internes; c'est l'approche behavioriste, et les fonctions qu'elle postule pour lier entrées et sorties qui sont inadéquates.

Un automate a un comportement que l'on peut qualifier de « logique ». Ces objets mathématiques comportent des entrées, des sorties et au moins deux états internes. A quoi correspondent ces états internes pour les behavioristes?, il ne peut s'agir que de variables organiques (dont l'étude relève de la physiologie et non de la psychologie, selon Skinner) où alors de variables intermédiaires (théoriquement superflues). Pour les behavioristes, dans la mesure où chaque élément d'un état interne correspond, selon une loi donnée, à un élément de l'entrée et, que d'autre part, tout élément de la sortie est fonction d'un élément de l'état interne, entrées et sorties sont directement liées. Par contre, dans la mesure où le concept de base de la théorie S-R étant que si un stimulus est conditionné, il l'est uniquement pour une réponse donnée, cette théorie est difficile à modéliser selon Nelson, étant donné qu'un automate peut en général déterminer plusieurs sorties pour une entrée donnée. Pour prédire une sortie il faut reconstituer l'histoire complète de l'automate

ou connaître son état interne au début de l'expérience, ce qui requiert des concepts extérieurs à la théorie S-R, puisque ces états, « on ne peut pas les définir en termes observables et certainement pas en termes théoriques de la physique ». Ceci amène Nelson à une description des états internes de l'organisme en termes d'un méta-langage, les états mentaux étant assimilés à des catégories grammaticales définies par des règles, indépendamment de toute « implantation » matérielle. Les lois de cette grammaire interne induisent les lois du comportement externe, par conséquent l'explication psychologique des comportements est à formuler avec cette démarche déductive (position cognitiviste classique).

P. Suppes (1969) va montrer que ce méta-langage est isomorphe au modèle S-R. Pour lui, en effet, les limites du behaviorisme sont celles de l'expérimentation animale, ce qui n'entraîne pas, pour autant, de limites à la théorie. De la même façon qu'un ordinateur « comprend » des séquences 0-1, alors que son utilisateur a besoin de langages plus élaborés, on ne peut pas demander à la séquence S-R de pouvoir décrire directement la complexité du comportement humain. Une approche mathématique introduisant des concepts beaucoup plus complexes est nécessaire. Le même type d'isomorphisme relie le modèle S-R et la théorie des plans de Miller, Galanter et Pribram (Millenson, 1967). Problèmes algorithmiques ou séquences de comportements, peuvent aussi bien être représentés par une notation S-R, ou en terme de « tote » : test-operate-test-exit.

Cette polémique autour des états internes et de leur formalisation, loin de s'épuiser, se développera suivant trois directions :

- 1) élaboration des propriétés structurelles des représentations mentales définissant les relations entre entrées et sorties;
- 2) introduction de concepts plus complexes dans ces relations;
- 3) simulation de 1 et 2 avec les réseaux de neurones formels.

4. Traitement de l'information et rôle de l'environnement

4.1. Polémique Fodor-Barwise

Le mentalisme computationnel de Fodor (1988) est caractéristique de la première des directions que nous venons de citer (c'est-à-dire l'élaboration des propriétés structurelles des représentations mentales assimilées à des catégories grammaticales) (Fodor *et al.*, 1988). La psycholinguistique « avale » ainsi toute la psychologie. En effet, à partir du terrain de la linguistique (*voir* polémique Chomsky-Skinner à propos du « comportement verbal » (Chomsky, 1959), tous les comportements et pas seulement les

comportements linguistiques vont être définis en termes de structures internes, de représentations symboliques ou de « langage de la pensée ». Ces représentations mentales ont une structure combinatoire syntaxique et sémantique supposée être le pendant des relations structurelles du cerveau. Ce dernier, comme l'ordinateur, est un système de traitement de symboles. Ce système physique et ses propriétés structurelles déterminent le comportement. Autrement dit, pour Fodor, toute théorie psychologique doit être présentée en termes du langage formel de la pensée.

Contrairement à ce que laissent supposer certains cognitivistes, il n'y a pas d'accord général ni sur la nature de l'information ni sur celle de son traitement. Les variantes qui coexistent à l'intérieur du cognitivisme dérivent de la polémique Chomsky-Skinner. Elles sont liées aux différences générées par les linguistes intéressés par la « topographie des réponses verbales » et par les psychologues cherchant à rendre compte de la « probabilité d'émission » du comportement verbal d'un sujet dans un contexte donné (Richelle, 1976). Autrement dit les uns privilégient l'information et les autres le traitement.

Pour Barwise : « le contenu d'un état mental ne dépend pas seulement de ses propriétés intrinsèques (sa forme syntaxique selon Fodor) mais aussi de ses caractéristiques, du fait d'être en situation »... (Barwise, 1986); ces caractéristiques ne sont pas représentées dans le cerveau de manière explicite mais correspondent à un ensemble de comportements appropriés à l'environnement, reflétant ses régularités. Dans ces conditions, il découle logiquement, qu'en dernière instance, cette correspondance avec l'environnement doit être expliquée en termes d'apprentissages antérieurs de l'individu (domaine du behaviorisme). C'est ainsi que pour rendre compte du traitement de l'information il convient d'envisager trois domaines (Fodor-Barwise-behaviorisme) qui ne sont pas réductibles les uns aux autres (Winograd, 1987).

Dans la mesure où toute approche autre que celle de la logique formelle de Fodor, est soupçonnée de behaviorisme, seraient behavioristes entre autres :

- Gibson (1979) pour qui ce sont les contraintes et les invariances de l'environnement qui fournissent toute l'information perceptive;
- Quine (1960) qui cherche à modéliser le langage et la pensée en termes de propriétés et de relations qui leurs sont extérieures;
- Dretske (1981) pour qui la notion de départ est le « contenu de l'information de la situation »;
- tous ceux pour qui il n'y a pas de pensée sans environnement.

Sont-ils à bannir des sciences de la cognition?

4.2. *A propos du behaviorisme*

Il est hors de mon propos de dresser un tableau exhaustif des approches behavioristes (Zuriff, 1985). L'hétérogénéité des démarches et des principes utilisés rendent la tâche difficile. Peuvent être considérés comme des exemples illustratifs de ces démarches les trois approches suivantes :

1) *Études des relations fonctionnelles entre entrée et sortie*. C'est le domaine des apprentissages antérieurs cités précédemment.

2) *Psychologie cognitive*. Pour J. F. Le Ny : « La psychologie cognitive est la meilleure héritière d'une lignée scientifique dans laquelle le behaviorisme a été une branche » (Le Ny, 1985). On sait que le but du behaviorisme a été de fonder une psychologie scientifique, basée sur des faits observables, objectifs. Les phénomènes mentaux, dans l'optique citée, pouvant être modélisés, sont ainsi objectivables. Le projet cognitiviste de mettre en évidence les mécanismes internes (l'esprit comme objet scientifique) correspond à une vision matérialiste et mécaniste qui n'est, en fait, que la poursuite du behaviorisme.

3) *Behaviorisme Skinnerien*. Il correspond à un volume important de travaux et continue à influencer de nombreux domaines (Lowe *et al.*, 1985). Il est étroitement lié à l'expérimentation animale et à l'étude des programmes de renforcement. Il serait injuste d'occulter ou de minimiser la percée scientifique due à l'expérimentation en laboratoire des programmes de renforcement. Ces programmes constituent l'outil le plus puissant jamais utilisé en psychologie. Les renforcements contrôlent le comportement en fonction de la façon dont ils sont programmés. Mais l'analyse expérimentale de ces comportements n'a conduit qu'à un catalogue de programmes considérés comme des entités séparées sans proposer d'explication cohérente de l'action spécifique d'un programme particulier. Il est intéressant de constater que la physiologie (incluant, dans une optique skinnérienne, la mémoire) se trouve dans une position semblable : beaucoup de résultats épars sans intégration conceptuelle. En psychologie comme en physiologie, le problème est d'intégrer les faits empiriques isolés et d'innover pour aborder la complexité.

Formalismes et descriptions mathématiques des comportements se sont développés en parallèle avec la psychologie contemporaine. L'apport de modèles des physiciens et informaticiens, pourrait permettre d'intégrer les résultats découlant des études antérieures, en des principes plus généraux, plus abstraits et définis mathématiquement, manière d'aborder le problème précédent.

L'équation de Herrnstein sur la loi de l'effet est un exemple d'une telle intégration (McDowell, 1982). Elle ne contredit pas les vues de Skinner, mais

les complexifie. Dans l'approche de Herrnstein, la fréquence des réponses est gouvernée par les renforcements de diverses sources que reçoit l'organisme suivant une loi hyperbolique. On ne peut plus se limiter alors à considérer un renforcement en relation directe avec un comportement cible, comme le fait Skinner. On peut alors imaginer la difficulté de mettre en place une stratégie de renforcements contingents chez l'homme placé dans un environnement complexe. Ceci explique entre autre l'échec de l'utilisation thérapeutique des programmes de renforcement pour les patients ambulatoires, alors que ces programmes ont des résultats intéressants dans les institutions asilaires.

Autre exemple : les modèles d'optimisation, utilisés en sciences de la cognition. Ils pourraient être appliqués à l'apprentissage, ce que d'ailleurs essayent de faire les tenants de l'optique néo-darwinienne (Zeiler, 1984). Pour eux, l'apprentissage est vu comme adaptation, et les programmes de renforcement comme une stratégie d'optimisation de ces renforcements. D'autre part, des modèles dynamiques d'analyse comportementale en termes d'optimisation ont aussi été utilisés en écologie (Houston *et al.*, 1988). Ces modèles d'optimisation, qui se révèlent intéressants dans des domaines aussi divers, pourraient également permettre de comprendre la structuration neuronale et comportementale sous la pression environnementale.

5. Connexionisme, behaviorisme et neurosciences

Le néo-connexionisme reprend les modèles de réseaux de neurones mais en élargissent leurs objectifs. Il ne s'agit pas de réduire telle performance, telle fonction cognitive à des connexions formelles, théoriques, mais de simuler ces connexions pour étudier les performances résultantes. L'entreprise devient à la fois formelle et technologique.

Un système connexioniste est constitué d'un nombre élevé d'unités simples (« neurones »), interconnectées. Chaque unité reçoit une activité excitatrice ou inhibitrice (ou les deux) qui, à un seuil donné, produisent un changement d'état. L'activité reçue par une unité donnée, à partir de l'une quelconque des unités du système, est modulée à l'aide d'un « poids », qui peut être modifié par apprentissage, pour que le comportement de l'ensemble du système rende compte des propriétés statistiques de l'entrée. Un tel réseau peut être considéré, et c'est un de ses intérêts, tout autant comme un objet mathématique ou un modèle des propriétés structurelles du cerveau, que comme une version complexifiée de l'associationnisme en psychologie.

Le perceptron de Rosenblatt (Mercier, 1989) est la première tentative de construction de tels réseaux. Il comprend une couche appelée « rétine », constituée de cellules photoélectriques sur lesquelles est projetée la forme à

reconnaître; chaque cellule de cette couche, émet un signal vers une couche intermédiaire qui elle-même excite une couche « réponse ». Il est intéressant de constater que le langage utilisé pour décrire l'expérimentation avec la machine, emprunte celui des behavioristes et de l'expérimentation animale. En effet, le perceptron devait apprendre à faire des choix entre différentes configurations de stimuli; pour ce faire, les poids des connexions étaient modifiés à l'aide de procédures d'apprentissage, contrôlées notamment par les réponses ou les corrections d'erreurs, au moyen de renforcements ou de punitions.

Les limites du perceptron correspondent à celles de la connexion S-R; il apprend une action à partir d'une situation, mais ne peut généraliser à une classe de situations. Ce modèle, comme beaucoup d'autres, va évoluer par complexification. C'est ainsi que les réseaux connexionistes ont, entre autres, adopté des méthodes de la physique des solides, de la théorie des verres de spins et de la mécanique statistique.

Le fait de construire des modèles qui tiennent compte de contraintes imposées par le cerveau a rapproché les neurosciences du connexionisme. Les influences entre ces domaines sont à double sens, puisqu'il s'agit aussi de construire des architectures de réseaux qui permettent une réinterprétation des résultats des neurosciences et qui suggèrent des expériences nouvelles. Ces travaux donnent une dimension nouvelle à l'étude des relations fonctionnelles entre l'entrée et la sortie puisque, outre la cognition, la topographie du cerveau est concernée. Des modèles comme ceux de Linsker (1986) proposent une structuration de l'architecture d'un réseau à couches, à partir de l'activité aléatoire de sa première couche. Ces modèles indiquent les possibilités du développement de l'architecture neuronale, comme propriété émergente au cours de l'apprentissage, à travers des règles comme celle de Hebb (1949).

Dans un réseau de neurones l'entrée et la sortie sont spécifiées et des règles de correction sont proposées mais la façon dont est traitée l'entrée pour obtenir la sortie ne l'est pas; les solutions adoptées et les propriétés qui en résultent au niveau des différentes couches du réseau, sont comparées à la topographie du cerveau. Il est surprenant de constater, d'une part, que des règles d'apprentissage simples produisent dans les réseaux des comportements complexes, et de l'autre que les « neurones » de ces réseaux se comportent de manière analogue à celle de classes spéciales de cellules dans le cortex (Anderson, 1988).

5.1. Du paradigme du conditionnement au codage cognitif

La révolution cognitive a eu le mérite d'entreprendre l'opérationnalisation de l'activité mentale mais, des formalismes de Chomsky au « langage de la

pensée » de Fodor, on retrouve le désir de se débarrasser de 50 années de recherches behavioristes. Or, une des fonctions que l'on est en droit de demander à un modèle est de permettre l'accumulation des connaissances. Un des attraits du connexionisme consiste précisément à nous aider à comprendre comment passer de la relation élémentaire et passive (du behaviorisme) entre un stimulus et une réponse, à un processus complexe, orienté par la dynamique propre du système, mais toujours modulé par l'environnement ; comment construire du cognitif sans présupposer l'existence de structures abstraites inconscientes de règles logiques, et comment construire, à travers l'apprentissage, des représentations symboliques à partir d'informations non symboliques.

Des architectures connexionistes se sont développées pour rendre compte au fur et à mesure de faits expérimentaux, relevant autant des champs behavioriste que cognitiviste, citons notamment :

- La règle de Hebb et sa représentation mathématique, façon la plus élémentaire de modéliser la substitution de stimulus dans un conditionnement classique (le stimulus conditionné déclenche une réponse conditionnée par substitution du stimulus inconditionné).

- Le perceptron cité précédemment, transformant un stimulus conditionné en un stimulus inconditionné, pour un second stimulus conditionné, permettant ainsi de modéliser des conditionnements d'ordre supérieur.

- Des expériences d'inhibition conditionnée (par exemple avec combinaison de stimuli) faisant intervenir les concepts d'attente et d'adaptation à des stimuli imprévisibles de l'environnement, base des modèles de Grossberg (1987) et de Sutton et Barto (1981).

- Le développement des performances linguistiques, pris en compte dans le modèle connexioniste de Rumelhart et McClelland (1986).

- Le paradigme de Stenberg (s'appuyant sur des temps de réaction pour des tâches cognitives avec facteurs additifs où soustractifs) inspirant les travaux actuels de Amit (1989).

6. Conclusion

Les sciences de la cognition correspondent à une tentative interdisciplinaire pour intégrer et interpréter les travaux expérimentaux des psychologues et des neurobiologistes, à l'aide d'outils physico-mathématiques. Le behaviorisme a un rôle à jouer dans ces sciences, en conservant son objet d'étude, à savoir les relations fonctionnelles entre entrées et sorties. Mais ces entrées et sorties qu'il étudie ne doivent pas seulement être celles de l'organisme mais également celles de l'assemblée des neurones du cerveau. L'« a-théorisme » de Skinner

constitue en fait (implicitement), à l'instar des théories connexionistes, une théorie associative dans ses méthodes, et statistique dans sa forme. L'évolution des formalismes théoriques et de la technologie expérimentale doivent utiliser tous les liens entre disciplines pour favoriser l'innovation dans la continuité.

Remerciement

Je remercie D. Andler et E. Andreewsky pour les commentaires détaillés apportés à mon manuscrit.

Bibliographie

- Adaptation du rapport de la conférence Vassar (juin 1985), « Teaching cognitive science to undergraduates, *Bulletin de l'A.R.C.*, 16, 1987, p. 12-32.
- D. J. AMIT, Tentative steps towards the implementation of cognitive functions in attractor neural networks. Communication au meeting, on *Physics, Mathematics and Cognitive Neurosciences*, Paris, 1989.
- A. ANDERSON, Learning from a computer cat, *Nature*, 331, 1988, p. 657-659.
- J. BARWISE, Information and circumstance, *Notre-Dame Journal of Formal Logic*, 27:3, 1986, p. 324-338.
- N. CHOMSKY, A review of B. F. Skinner's verbal behavior, *Language*, 35, 1959, p. 26-58.
- F. DRETSKE, *Knowledge and the flow of information*, Blackwell, Oxford, 1981.
- J.-P. DUPUY, L'essor de la première cybernétique, *Cahier du C.R.E.A.*, 7, 1985, p. 9-139.
- J. A. FODOR et Z. W. PYLYSHYN, Connectionism and cognitive architecture: A critical analysis, *Cognition*, 28, 1988, p. 11-71.
- J. J. GIBSON, *The ecological approach to visual perception*, Boston, Houghton Mifflin, 1979.
- S. GROSSBERG, Competitive learning: from interactive activation to adaptive resonance, *Cognitive Science*, 11, 1987, p. 23-63.
- D. O. HEBB, *The organization of behaviour*, John Wiley & Sons, 1949.
- A. HOUSTON, C. CLARK, J. McNAMARA et M. MANGEL, Dynamic models in behavioural and evolutionary ecology, *Nature*, 332, 1988, p. 29-34.
- G. LANTERI-LAURA, De l'organe au geste : tout se complique, *Science et vie*, 162, 1988, p. 156-159.
- J. F. LE NY, European roots of behaviourism and recent developments, in: C. F. LOWE, M. RICHELLE, D. E. BLACKMAN et C. M. BRADSHAW, *Behaviour analysis and contemporary psychology*, Lawrence Erlbaum, 1985.
- R. LINSKER, From basic network principles to neural architecture: Emergence of spatial-opponent cells, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 83, 1986, p. 7508-7512.
- C. F. LOWE, M. RICHELLE, D. E. BLACKMAN et C. M. BRADSHAW, *Behaviour analysis and contemporary psychology*, Lawrence Erlbaum, 1985.

- J. J. McDOWELL, The importance of Herrnstein's mathematical statement of the law of effect for behavior therapy, *American Psychologist*, 37:7, 1982, p. 771-779.
- J. MEHLER, E. DUPOUX, De la psychologie à la science cognitive, *Le débat*, 47, 1987, p. 65-87.
- D. MERCIER, Systèmes à mémoire utilisant des réseaux neuronaux, In J. DELACOUR et J. C. S. LEVY, *Systèmes à mémoire*, Mason (à paraître).
- J. R. MILLENSON, An isomorphism between stimulus-reponse notation and information processing flow diagrams, *The psychological record*, 17, 1967, p. 305-319.
- R. J. NELSON, Behaviorism is false, *The journal of philosophy*, 14, 1969, p. 417-475.
- W. QUINE, *Word and object*, Cambridge, MA: M.I.T. Press, 1960.
- M. RICHELLE, *L'acquisition du langage*, Bruxelles, Dessart et Mardaga, 1976.
- D. E. RUMELHART, J. L. McCLELLAND et P.D.P. Research Group, Parallel distributed processing, *Explorations in the Microstructure of Cognition*, vol I et II, M.I.T. Press, 1986.
- P. SUPPES, Stimulus-reponse theory of finite automate, *Journal of mathematical psychology*, 6, 1969, p. 327-355.
- R. S. SUTTON et A. G. BARTO, Toward a modern theory of adaptive networks: Expectation and prediction, *Psychological Review*, 88, 1981, p. 135-170.
- T. WINOGRAD, Cognition, attunement and modularity, *Mind and Language*, 2:1, 1987, p. 97-103.
- M. D. ZEILER, The sleeping giant: reinforcement schedules, *Journal of the experimental analysis of behavior*, 42, 1984, p. 485-493.
- G. E. ZURIFF, *Behaviorism: A conceptual reconstruction*, Columbia University Press, 1985.

MÉDITATIONS MÉCANICIENNES SUR L'ACTION, LES MOTS ET LES ÉQUATIONS AUX DIMENSIONS

Jean-François QUILICI-PACAUD

Chercheur en technologie-innovation ¹

Résumé

La mécanique comme science fondamentale et appliquée, jadis si dominante, est parfois jugée dépassée.

On peut cependant considérer — du point de vue des représentations, avec notamment les équations aux dimensions issues de son domaine — qu'elle est une sorte de « grammaire de la physique » (G. Bachelard), bien que le champ de cette dernière soit devenu moins accessible à la sensibilité humaine que celui de la Mécanique de Newton ; qu'elle est exemplaire du cursus historique de toute science appliquée, erreurs de parcours comprises. Et, enfin, qu'elle a toujours une valeur heuristique importante, pour la conception de produits originaux comme pour l'explication de l'action même.

Abstract

Mechanics, as both a fundamental and applied science, which has been a dominating one, is now sometimes said obsolete.

All the contrary, from the point of view of representations (mental models) and more definitely from the so-called "dimensional identities" issued from its field, one can consider it as a "physics grammar" (G. Bachelard), even though modern physics are less "sensitive" than Newton's mechanics. That it exemplifies the historical cursus of any applied science, itinerary errors included. And, at last, that it always remains of an heuristic value, for the design of new artifacts as for the very explanation of action.

Parfois reléguée aujourd'hui au rang de science d'application ou de technique, la Mécanique (newtonienne) a pu être qualifiée par Bachelard (1949) de « grammaire de la physique ». Elle peut être considérée aussi comme sa grand'mère, fille elle-même de la Géométrie.

1. 131, rue de Vaugirard, 75015 Paris.