

# Fondements des sciences cognitives

Benoît Virole

1995 -2022

## Résumé

Ce texte, écrit en 1995, présente les trois grands paradigmes des sciences cognitives. Il a été publié sous une forme première dans l'ouvrage *Sciences cognitives et psychanalyse* aux Presses universitaires de Nancy dont il constitue une partie. Il est donc à la fois daté en regard de la situation en 2019, mais il reste actuel dans la définition des principes qui président aux paradigmes constitutifs des sciences cognitives (I Fonctionnalisme, II Connexionnisme, III Auto-organisation). Une discussion des rapports avec la psychanalyse est amorcée en particulier par les liens avec les premiers modèles freudiens (IV).

## Mots-clefs

Sciences cognitives Fonctionnalisme Connexionnisme Auto-organisation  
Réseaux de neurones Psychanalyse

## Introduction

Le développement des sciences cognitives bénéficie d'une véritable lame de fond. Accroissement des crédits ministériels, création de départements universitaires, conventions entre laboratoires et industriels, volume des publications, tous ces indices dénotent son importance. Il serait vain de vouloir le réduire à un effet de mode car tout indique la survenue d'une mutation importante. La division interdisciplinaire entre la psychologie, la philosophie, la neurologie, l'informatique est en passe de voler en éclats. Il semble que l'on assiste aux prémices d'un bouleversement qui fait émerger une nouvelle organisation du savoir où ces disciplines seraient placées de façon transverse entre sciences humaines, sciences naturelles et sciences physiques. Il est certainement trop tôt pour analyser en profondeur les raisons de cette mutation. Une telle analyse est rendue d'autant plus difficile que les sciences cognitives semblent échapper à toute définition précise. Pour D. Andler :

« les sciences cognitives ont pour objet de décrire, d'expliquer et le cas échéant de simuler les principales dispositions et capacités de l'esprit humain -

langage, raisonnement, perception, coordination motrice, planification... »[2, p.9].

Pour F. Rastier, la cognition est l'acte de connaître et se définit par l'ensemble des processus cognitifs, naturels et artificiels observables. Elle ne se réduit pas à la connaissance, qui se définit alors comme le résultat produit par un processus cognitif [44, p.20]. Les différents courants des sciences cognitives sont ainsi constitués autour des grandes écoles de pensée de la philosophie de la connaissance. Ils sont aussi organisés autour de techniques issues de l'informatique. Chaque courant des sciences cognitives est ainsi représenté par une technique informatique particulière qui l'explicite et le métaphorise.

## I - Le fonctionnalisme

Le premier courant des sciences cognitives, appelé *fonctionnalisme* ou *paradigme symbolique*, s'inscrit dans la droite ligne de la thèse cartésienne des idées innées.

1. Le monde est prédéfini. Ses propriétés sont établies préalablement à toute activité cognitive. Les questions sur la nature et la genèse du monde n'appartiennent pas à l'espace de pensée du fonctionnalisme et doivent être réservées aux constructions philosophiques[56].
2. Notre cognition concerne ce monde et nécessite l'existence de représentations au sein de *systèmes cognitifs*. Ces représentations sont construites à partir de transformation des entrées perceptives en des représentations symboliques.
3. Notre cognition de ce monde s'accomplit à partir de la représentation de ses propriétés, puis d'une action fondée sur cette représentation. La pensée est comparable à une manipulation de symboles par des opérateurs logiques constituant des *fonctions*. Toute connaissance de la réalité repose alors sur ces structures symboliques[40].

Pour le fonctionnalisme, le niveau des représentations symboliques est l'unique niveau de description de la vie mentale. Selon un premier courant, la signification de chaque représentation ne peut être définie que par ses relations avec les autres représentations (thèse du *solipsisme méthodologique* de Fodor [14]). Selon un second courant, dit *naturaliste*, l'individuation des contenus sémantiques de chaque représentation dépend dans une certaine mesure des relations avec les états externes du monde[39]. La réalisation physique des représentations n'est pas pertinente et leur implémentation - c'est-à-dire la façon dont ces représentations sont physiquement présentes dans tel ou tel système - importe peu [39]. Le réductionnisme est donc sans intérêt. Une description de haut niveau peut se compiler en un langage de niveau inférieur, dont la description n'ajoute rien à celle de haut niveau. Les phénomènes physiologiques sous-jacents aux opérations de pensée sont donc indépendants des modèles expliquant la cognition. Les modes d'acquisition des représentations, et donc les stratégies d'apprentissage, ne sont pas nécessaires pour expliquer leur contenu et leur utilisation. Le fonctionnalisme peut se passer de toute psychologie génétique. D'où une opposition inévitable entre la psychologie génétique classique d'obédience piagetienne et le cognitivisme symbolique. Le fonctionnement d'un système cognitif est en effet indépendant de l'histoire de sa construction. Cette

conception découle des programmes informatiques, du moins des systèmes séquentiels issus des travaux du père de l'informatique, Von Neumann (1903-1957). On peut définir un programme comme des instructions codées dans un langage particulier qui lui permet d'être exécuté par un autre programme. La création de ce programme nécessite un programmeur humain, un langage de programmation, un interpréteur qui permet son interprétation pour la machine et « quelque chose » à programmer. Ce « quelque chose » doit être d'abord transcrit sous formes de variables encodant les données et d'instructions constituant un algorithme. Celui-ci sera ensuite interprété pour fournir des données de sortie qui peuvent être des données d'entrée pour un autre programme. Un programme automatise une procédure de calcul et peut la répéter autant fois que l'utilisateur le demande. Un logiciel comporte ainsi plusieurs couches de programmes différentes. En partant de la base, on trouve d'abord le programme source directement écrit dans le langage de programmation et contenant les fonctions génériques. Ces sources sont ensuite interprétées par un compilateur et transformées en un autre programme capable de faire exécuter le programme initial par le langage machine mis à demeure dans le processeur. Ce programme exécutable est coupé des sources et est codé de façon hermétique même pour un programmeur connaissant le langage de programmation. La lecture d'un programme exécutable montre une série de symboles dont on sait qu'ils sont efficaces mais dont on ignore le sens, à l'instar d'une écriture inconnue. Cette structure hiérarchique interne aux ordinateurs sert de métaphore globale au paradigme fonctionnaliste. L'esprit serait constitué d'une superposition de systèmes distincts s'interprétant mutuellement et dont le système basal serait le langage neuronal. Or, une machine, quelle qu'elle soit, ne peut traiter de l'information de manière intelligente que si selon Meunier :

« elle possède une structure d'intégration des multiples entrants qui lui sont présentés, et qu'elle puisse relier ces informations par des processus de raisonnement contrôlés »[40].

Tout système dit « intelligent » doit donc posséder une base de connaissances à laquelle il se réfère pour

traiter des données nouvelles. Cette contrainte impose une démarcation entre les données et les symboles opérant sur elles. Par exemple, les systèmes automatiques de traitement du langage naturel doivent utiliser une séparation entre les niveaux sémantiques et syntaxiques [49]. En principe, les systèmes d'Intelligence Artificielle (IA) utilisant les principes de base de l'intelligence symbolique sont réductibles aux systèmes formels de la logique mathématique. En fait, comme l'objectif des systèmes est de « coller » le plus possible au raisonnement humain, les représentations symboliques utilisées pour manipuler ces données ont une structure quasi-linguistique. Les expressions symboliques sont en général complexes, composées de symboles plus simples constituant un pseudo-code proche du langage naturel tel que celui utilisé dans l'application type de l'intelligence symbolique : *les systèmes-experts*.

#### Représentation des connaissances

Un système-expert est un système logiciel qui reproduit les connaissances d'un expert humain dans un domaine considéré. Soit par exemple, le savoir-faire d'un médecin radiologiste ayant une longue pratique de l'interprétation de clichés. Ce savoir clinique est d'abord extrait du clinicien au cours d'interviews avec un ingénieur cognitif qui en le faisant parler de sa pratique, parvient à la formaliser sous la forme de règles logiques et à créer une base de connaissance reproduisant le savoir-faire de cet expert<sup>1</sup>. Cette formalisation se fait sous formes de règles d'inférence de type : Si  $X$  est vrai  $\implies$  alors  $Y$  est vrai, associées à la logique des prédicats. Mais ces règles formelles manipulent des variables qui doivent contenir la connaissance. Tout le problème consiste alors à pouvoir représenter la connaissance. Toute connaissance, quelle que soit sa nature, doit en effet être représentée de telle façon qu'elle soit utilisable dans un processus de programmation. La solu-

1. Quand on présente à des cliniciens expérimentés, la structure de la base de connaissances ainsi élaborée, ils soulignent très souvent l'écart entre cette structure et leurs propres conceptions sur la façon dont ils arrivent à leur conclusions. Cet écart dénote la non-concordance entre l'auto-observation de sa connaissance et sa structure cognitive réelle.

tion est alors variable selon le type de connaissance. On peut représenter le raisonnement d'un clinicien sous la forme d'un arbre de décision, le savoir d'un botaniste sous la forme d'une taxonomie graphique, l'expérience d'un ingénieur sous la forme de formules. Parmi les différentes façons de procéder pour représenter les connaissances<sup>2</sup> les réseaux conceptuels sont parmi les plus intéressants. Un réseau conceptuel associe par des relations, appelées arcs ou liens, des primitives sémiotiques, appelées nœuds ou concepts [52]. Il est alors possible de représenter les connaissances les plus complexes sous la forme de graphes, d'arbres, de matrices, de treillis, de faisceaux et d'énoncés symboliques prenant la forme de règles de production. Structurée sous formes de règles, la base de connaissances est exploitée par un moteur d'inférences. On lui assigne alors des buts (diagnostics). Afin de traiter la base de faits (les données fournies en entrée), et d'atteindre les buts préfixés, le système va processor ces données à partir des règles de production. Il existe plusieurs types de moteurs d'inférence (dit de rang 0, 1,...), selon qu'ils fonctionnent en chaînage avant, selon la procédure de raisonnement déductif - ou en chaînage arrière - raisonnement inductif, ou encore de façon mixte. La psychologie cognitive a fait un large usage de cette notion de règles de production pour décrire les opérations de pensée. En effet, ce mode d'analyse des problèmes est particulièrement puissant car avec très peu d'opérateurs logiques (fonctions), on peut traiter des domaines très vastes. Cependant une des questions posées par la puissance de ces règles est de savoir si elles sont réellement utilisées dans la cognition biologique.

#### La neuropsychologie cognitive

La neuropsychologie cognitive a pris son essor à la suite de l'arrivée récente des explorations fonctionnelles par imagerie. Les explorations cliniques des fonctions centrales par des épreuves neuropsychologiques devenaient alors inutiles pour l'établissement des diagnostics. Au lieu de voir son développement

2. Cf. le livre de J.F. Sowa sur la représentation des connaissances, *Conceptual Structures*, Addison Wesley, 1984.

freiné, la neuropsychologie s'est alors dégagée des questions proprement diagnostics. Elle s'est tournée vers la psychologie cognitive pour élaborer des modèles explicatifs censés rendre compte des pathologies observées. La neuropsychologie cognitive repose ainsi sur un certain nombre de postulats fondamentaux que nous reprenons d'après Xavier Seron [50, p.71],

1. *La modularité.* Les activités cognitives résultent de la mise en jeu de sous-composantes de traitement de l'information effectuant leurs opérations de façon autonome. Ce postulat est dérivé directement des thèses fonctionnalistes de Fodor sur la modularité de l'esprit [14]; l'esprit est un agglomérat de fonctions modulaires assurant des traitements différenciés de l'information.
2. *La dissociation.* La neuropsychologie suppose que ces modules de traitement peuvent être atteints de façon différentielle par des processus pathologiques. Si ces modules sont hiérarchisés, alors une pathologie affectant un module supérieur se répercutera sur les modules inférieurs et qui lui sont secondaires sur le plan séquentiel. Seron donne l'exemple suivant; si la composante qui assure la reconnaissance des lettres est déficiente, alors celle qui effectue le transcodage des lettres en un code phonologique interne risque de recevoir en entrée des informations inexacts ou partielles. Or, c'est sur ces informations erronées qu'elle tentera d'effectuer normalement les opérations qui lui sont spécifiques, aboutissant en sortie à des procédures cognitives aberrantes constituant les formes pathologiques observées par les cliniciens.
3. *La transparence.* Ce postulat signifie que les conduites perturbées, observables cliniquement sont considérées comme le résultat du fonctionnement cognitif normal amputé des composantes déficitaires. En quelque sorte, en observant les conduites cognitives d'un sujet on peut par transparence voir les effets des modules de traitement de l'information qui sont déficients.

Le cerveau est ainsi assimilé à un système de traitement d'informations qui doivent être encodées, puis traitées par des opérations symboliques et enfin mises en mémoire au travers de différentes indexations. Chacune de ces étapes de traitement reprend les sorties de l'étape précédente. La modularité n'est donc que l'expression des différentes étapes

de traitement. Ces étapes peuvent être dissociées soit parce que le substrat neuronal nécessaire à ces fonctions de traitement est défectueux, soit parce que le développement de ces fonctions sur le plan du traitement ne s'est pas déroulé correctement. Cet échec aboutit à ce que les modules centraux utilisent des informations périphériques défectueuses<sup>3</sup>. En pratique, l'exercice du neuropsychologue consiste à chercher le bon test qui va permettre de mettre en évidence une dissociation modulaire et permettre l'élaboration d'une stratégie compensatrice, nommée *thérapie cognitive*. Ces thérapies, dont la vogue va croissante, consistent à aider le patient à exercer des stratégies de contournement de ses difficultés. Cependant avant de mettre en place ces thérapies cognitives, il convient de connaître les modules défectueux en établissant un modèle général des fonctions impliquées.

#### *Une application : la mémoire à court terme*

Soit par exemple, le syndrome de mémoire à court terme[48]. Ce syndrome se manifeste par l'incapacité d'un sujet à répéter plus de trois chiffres, alors que la capacité normale de rétention est de 7 plus ou moins 2 chiffres. Le modèle modulaire initial choisi est représenté sur la figure 1. Ce modèle postule l'existence d'une mémoire à court-terme verbale indépendante des modules d'encodage et de décodage phonologique, et de la mémoire sémantique.

L'identification du syndrome nécessite la mise en évidence d'un trouble *électif* de cette fonction et l'intégrité des fonctions adjacentes. La démarche de la neuropsychologie cognitive consiste à atteindre cet objectif par la passation de tests spécifiques isolant chacune de ces fonctions. Dans le cas considéré, la passation de trois types de test permet cet isolement. En appliquant la méthodologie proposée par Lecocq [36], le système propose la passation de tests d'inhibition de l'interférence proactive<sup>4</sup>. Cette procédure représente le mode de raisonnement le plus

3. Comme dans le modèle cognitif de l'autisme.

4. Il s'agit de tests permettant d'apprécier, par le biais de l'interférence qu'il entraîne lors d'essais successifs, l'utilisation des informations issues de mots rimant (A), de classes sémantiques (B) et de production verbale (C).

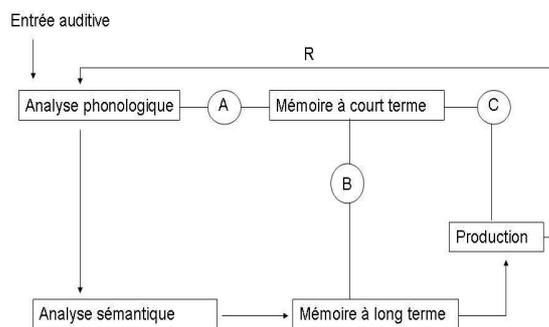


FIGURE 1 – Modèle de la mémoire à court terme. A, B, C correspondent à des tests neuropsychologiques permettant son isolation. R est une boucle de rétroaction (d'après Shallice 1988)

économique, du point de vue logique, pour parvenir au résultat, compte tenu du modèle initial [58].

### Dysphasies et dyspraxies

Une des réussites de la neuropsychologie réside dans l'établissement d'une typologie des troubles du langage regroupés sous le terme de *dysphasies*. Cette typologie illustre les procédures de la neuropsychologie. A la suite d'une sémiologie fine des troubles du développement du langage, on établit un modèle que l'on met en rapport avec les données anatomiques et fonctionnelles concernant le langage. Les connaissances des fonctions sous-corticales impliquées dans le langage a amené Crosson [7] a proposer un nouveau modèle neuropsychologique du langage (Cf. la figure 2.). À partir de ce modèle, on peut construire une typologie des dysphasies en spécifiant des dissociations sur les différentes connexions et en retrouvant ainsi des correspondances avec les formes cliniques observées [26] [43]. La même méthode a permis l'établissement d'une classification des dyspraxies (Cf. Tableau 2.). La notion de dyspraxie

a été apportée par la neuropsychologie clinique contemporaine<sup>5</sup>. Elle s'est ensuite beaucoup étendue et de nombreux enfants sont aujourd'hui considérés comme dyspraxiques alors qu'ils étaient auparavant simplement considérés comme maladroits. On peut critiquer l'extension de cette notion dans les pratiques cliniques, qui parfois ont pu masquer d'autres difficultés, bien plus importantes, de l'enfant. Mais elle a permis de comprendre qu'un certain nombre d'enfants présentaient des déficits d'estime de soi et de sentiments dépressifs, consécutifs à des dyspraxies invalidantes.

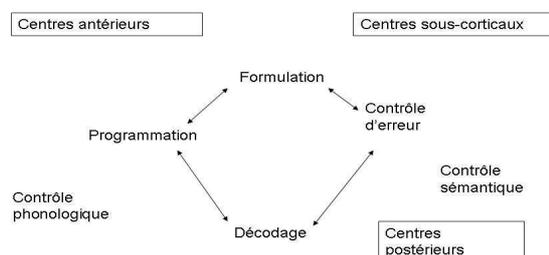


FIGURE 2 – Modèle modulaire du langage permettant de distinguer les différents types de dysphasies (Crosson).

### Une nouvelle nosographie

Un autre apport important de la neuropsychologie a consisté dans la découverte d'une dualité dans le fonctionnement cognitif entre un processus séquentiel de traitement des informations sérielles et temporelles, et un autre processus simultané où les informations sont intégrées de façon spatiale. Ces deux processus sont en partie corrélés à la spécialisation interhémisphérique du cerveau. Une analyse différentielle de ces deux processus est rendue possible par des tests, tels que le *Kaufmann Assessment Battery for children*. Cette batterie présente

5. Mazeau M., *Déficits visuo-spatiaux et dyspraxies de l'enfant*, Masson, 1995.

Syndromes	Dysphasies expressives		mixte Phonologique syntaxique	Dysphasies de réception		
	Production Phonologique	Kinesthésique afférente		Réceptive	Lexicale Syntaxique	Sémantique pragmatique
hypospontanéité	Non	Oui	Oui	Non	Non Jargon fluent	Non logorrhée
Dissociation automatico- volontaire	Plus ou moins	Oui	Oui	Non	Non	Non
Trouble de l'encodage syntaxique	Oui	Non	Oui agrammatisme	Oui	Oui	Non
Manque du mot	Oui	Non	Non	Oui	Oui très fort	Non
Trouble de la compréhension	Non	Non	Plus ou moins	Oui	Oui Énoncés complexes	Oui Énoncés complexe
Trouble de l'informativité	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui fort

TABLEAU 1 – Marqueurs de déviance dans les différents syndromes dysphasiques

un fort intérêt clinique car les troubles de l'attention, fréquents chez les enfants, seraient associés à un trouble électif des processus séquentiels[33]. Suite à de nombreuses systématisations de ce type, la neuropsychologie cognitive a proposé une nouvelle nosographie des troubles des fonctions supérieures (troubles de la mémoire, de la motricité etc..) qui sont associées à des modèles modulaires. Cette nosographie a gagné sa validité par la correspondance avec les troubles lésionnels de l'encéphale consécutifs à des accidents cérébro-vasculaires ou à des traumatismes craniens. La neuropsychologie cognitive a également régénéré la clinique des troubles du développement de l'enfant. Elle a permis de faire comprendre aux cliniciens que le développement des fonctions supérieures hautement complexes, comme la perception, la motricité, le langage, les raisonnements, peuvent subir des troubles du fait de leur nature biologique. Leur causalité première serait alors à rechercher dans un complexe de facteurs liant les prédispositions génétiques, les facteurs somatiques précoces, et des avatars dans l'établissement des traitements cognitifs hautement élaborés. Elle a permis également d'aborder différemment les troubles d'apprentissage et de comprendre qu'il existe des stratégies fort diverses et individualisées. La meilleure connaissance de ces stratégies a ouvert un regard nouveau sur les difficultés à apprendre, les méthodes pédagogiques et les retards d'acquisition. De même chez les adultes, la connaissance de ce qu'on a appelé « l'ergonomie cognitive » a ouvert une vision différente des rap-

ports entre la pensée et la réalisation des tâches. Des perspectives nouvelles, qualitatives, individualisées, de l'apprentissage et des instrumentations ont été incontestablement ouvertes par la neuropsychologie cognitive.

#### *Extension du paradigme*

Obéissant à la règle générale qui fait qu'une discipline tente toujours de vivre au-dessus de ces moyens, la neuropsychologie s'est emparée de ces réussites locales pour tenter d'étendre son mode d'approche et expliquer par des facteurs cognitifs l'ensemble des phénomènes psychologiques. Dès lors le conflit avec les cliniciens habitués à travailler dans le cadre de référence de la psychologie clinique d'inspiration analytique devenait inévitable. La neuropsychologie cognitive se déploie dans un espace où la signification psychologique d'un symptôme, son insertion dans une problématique interactive entre l'enfant et sa famille, et *a fortiori* une problématique intrapsychique, ne peuvent exister. Tout trouble des fonctions supérieures est par définition l'apparaître d'un dysfonctionnement modulaire d'origine biologique. L'incompatibilité est indépassable dans la zone frontière où les deux disciplines se disputent les mêmes formes cliniques : troubles de l'intelligence *vs* inhibition intellectuelle, dysphasie d'expression *vs* mutisme psychogène, hyperactivité par déficit attentionnel *vs* instabilité de l'enfant traversant les phases oedipiennes

<b>Dyspraxie du premier type</b> (sensori-motrice)	Ce type est caractérisé par l'association de troubles praxiques à des difficultés d'expression verbale dues à un trouble phonologique. Chez ces enfants, l'espace ne peut pas se construire à partir de schémas d'action mais par une mentalisation systématique de l'acte. L'accès au fonctionnement symbolique précède le concept qu'ils ne peuvent découvrir à l'aide de leur expérience motrice entravée par les difficultés sensori-motrices.
<b>Dyspraxie du second type</b> (egocentrique/allocentrique)	Ce second type est caractérisé par une atteinte dissociée de la motricité. Ces enfants ont des difficultés pour opérationnaliser les actes moteurs qui impliquent une projection dans l'espace. C'est la capacité de passage d'un mode de référentialisation égocentrique à un mode de référentialisation indépendant du corps (allocentrique) qui est troublé. Il existe des difficultés de langage écrit (graphies) et des productions graphiques en miroir. On remarque souvent une dyscalculie spatiale et des difficultés syntaxiques. Les modes de compensation utilisent des modes de catégorisation morphologique pour accéder à l'abstraction.
<b>Dyspraxie du troisième type</b> (versant perceptif)	Ce type est caractérisé par le déficit de représentations figuratives et d'indices visuels dans l'organisation de l'action. Ce déficit met en cause la maturation des systèmes attentionnels. Une amélioration de ce trouble apparaît lorsqu'on fait un travail systématique centré sur l'exploration de l'espace, la poursuite oculaire, tout en développant les recours aux suppléances kinesthésiques. Vis-à-vis du modèle piagétien, c'est le début du stade préopérateur qui est en cause, lors de la transition entre le stade sensori-moteur et le début des représentations symboliques.

TABLEAU 2 – Classification des dyspraxies, d'après Gérard C.L., Dugas M., « Dyspraxie de développement, proposition de typologie », *Ann. Réadaptation Méd Phys.* 1991, 34, 325-332, Elsevier, Paris.

[13]. Les résultats thérapeutiques avancés par les thérapies cognitives sur les phobies ou les attaques de panique s'apparentent à des conditionnements avec renforcements auto ou hétérogénéisés [4].

Cependant il n'est pas nécessaire de faire appel à une controverse sur les causes premières entre deux approches fondamentalement hétérodoxes pour mettre en évidence la faiblesse de la neuropsychologie cognitive. Celle-ci est interne à sa propre méthodologie. Plus la neuropsychologie cherche à avancer dans la description des troubles qu'elle met en évidence, plus elle doit créer des tests spécifiques dont les domaines de validité sont limités par les faiblesses des autres tests qui lui sont nécessairement associés. Ainsi, en créant des tests de plus en plus spécifiques, elle parvient à mettre à jour des singularités de traitement cognitif qu'elle interprète alors comme pathologiques par rapport à des normes statistiques générales, elles-mêmes sujettes à critiques. Or ces singularités, par définition, n'ont de sens que vis-à-vis d'un seul sujet (Cf. le problème du cas unique chez

Shallice [48]). En effet, ces singularités sont le reflet d'un autoadaptation *individuelle* à une perturbation modulaire. La neuropsychologie cognitive en arrive alors à décrire le style cognitif d'un sujet et perd toute prétention à la généralisation. La neuropsychologie cognitive méconnaît généralement ce problème méthodologique. Elle semble entraînée vers une fuite en avant marquée par l'accroissement du nombre de tests nécessaires - ce qui rend son application réelle en clinique de plus en plus difficile - et une fragmentation de plus en plus poussée des fonctions cognitives oubliant ainsi l'incontournable unité subjective de la pensée.

#### *Réseaux sémantiques*

Il n'est pas sûr que la neuropsychologie exploite toutes les possibilités ouvertes par le courant symbolique des sciences cognitives. Il pourrait être plus intéressant de chercher à décrire les *styles cognitifs* individuels en utilisant une comparaison quali-

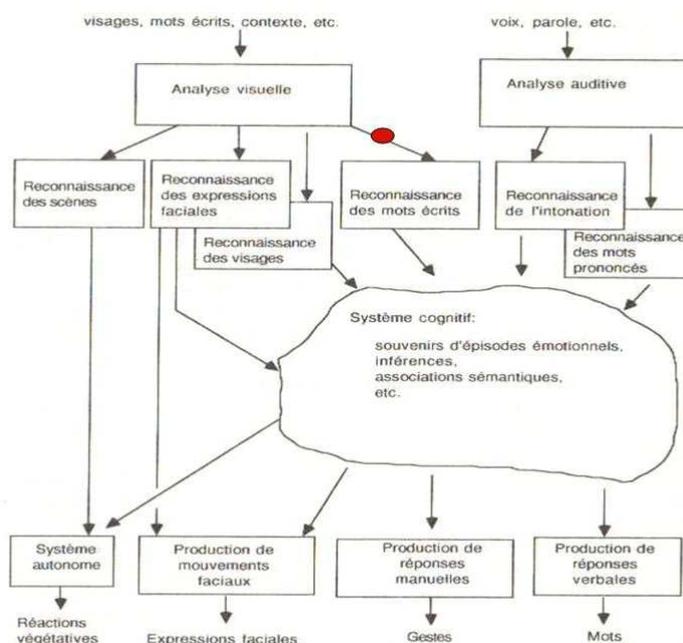


FIGURE 3 – Exemple de modèle modulaire neuropsychologique. Le point indique une dissociation entre deux modules.

tative avec les performances d'un système artificiel. Dans cette perspective, les modes de représentations symboliques des connaissances sont intéressants pour aborder les troubles de l'efficacité intellectuelle et en particulier ceux qui touchent les représentations sémantiques. Par exemple, beaucoup de systèmes de compréhension du langage naturel comprennent une analyse morphologique, syntaxique, casuelle, et enfin sémantique en utilisant les graphes conceptuels [6].

Dans le système proposé par Brachman (1985), le mode de représentation de l'espace sémantique est un mode taxinomique utilisant le calcul des prédicats du premier ordre. Le système KL-ONE de Brachman inclut une classification qui organise les ensembles (les concepts) et les éléments (les individus) dans une taxinomie fondée sur les relations de généralisation et de spécialisation entre les termes. Ainsi, le modèle permet de décrire des ensembles primitifs tels que « personne », « animal », « pensée », pour lesquels on définit les conditions nécessaires que doivent remplir les individus qui appartiennent à cet ensemble. On décrit également des ensembles de définition qui donnent les conditions nécessaires et suffisantes pour

qu'un individu appartienne à cet ensemble. Dans le lexique de la théorie des ensembles, cette sémantique peut être décrite ainsi ; un sur-ensemble spécialise un sous-ensemble si chaque individu satisfaisant la définition du sous-ensemble satisfait la définition du sur-ensemble. La figure 4 montre une représentation de liens sémantiques sous la forme d'un graphe utilisant les fonctions primitives *être* et *avoir*. Dans le schéma de gauche, la fonction *être* est symbolisée par des liens de filiation entre *C*, *A* et *B*. La fonction *avoir* dans le schéma de droite est représentée par un lien d'attribution (carré *D*) sur un concept virtuel *X* sans contenu. Le système est capable de créer un *objet sémantique virtuel*, sans contenu conceptuel identifié, mais possédant les attributs de l'élément présenté et va chercher à le lier à d'autres éléments. De fait, les liens dynamiques du réseau se construisent autour des fonctions « être » et « avoir » qui permettent la construction générique d'un espace sémantique.

Bien que ces systèmes soient limités et ne permettent qu'une compréhension réduite du langage naturel (1995), ils présentent un fort intérêt épistémique, non seulement par la preuve de l'autogénèse d'un

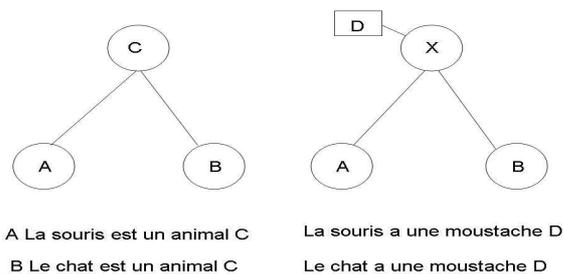


FIGURE 4 – Un réseau sémantique.

espace sémantique à partir d'un petit nombre de fonctions primitives, mais surtout par l'existence de ces *concepts virtuels*, sans contenu définissable, mais possédant des attributs. En d'autres termes, il existe dans ces espaces conceptuels, des entités composites doués de propriétés uniquement métonymiques. Ces systèmes peuvent être appliqués aux études cliniques [58]. Le graphe présenté sur le figure 5 est issu de l'analyse sémantique d'un cas réel de retard conceptuel chez un enfant de 11 ans, hospitalisé dans un service de neuropsychologie, et présentant un trouble de l'efficacité intellectuelle (QIV 69, QIP 55, QIT 58). En se limitant à un champ sémantique réduit et en y définissant *a priori* l'ensemble des relations d'appartenance réciproques qui lient les concepts de ce champ défini comme norme on peut tenter une description qualitative du trouble conceptuel de l'enfant. En étudiant la structure interne des réponses, que le système reproduit sous la forme d'arborescences graphiques, il est possible de repérer des objets virtuels, sans contenu, ne possédant qu'un ensemble de propriétés (plumes...), mais dont le concept génératif n'est pas disponible à la conscience du sujet. On ne peut manquer de faire le rapprochement entre ces objets virtuels et les représentations fantasmatisques des phobies.

*Au-delà de la représentation*

C'est sur le plan des neurosciences que l'apport du fonctionnalisme a trouvé son impact majeur. Il a permis aux chercheurs de construire une représentation globale du fonctionnement du cerveau que l'on pour-

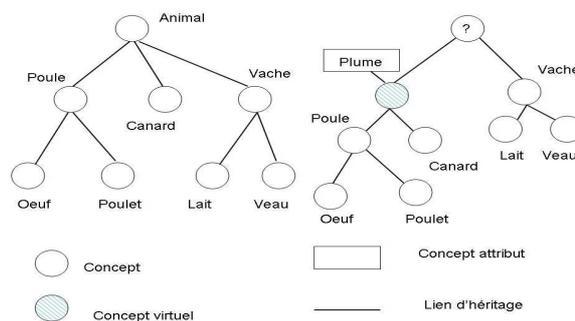


FIGURE 5 – Comparaison entre deux réseaux sémantiques.

rait résumer schématiquement ainsi : le réel externe est codé perceptivement sous la forme de cartes perceptives et de méta-cartes cognitives (modules) déterminées en grande partie génétiquement et possédant des caractéristiques spécifiques de l'espèce. Par exemple, chez l'homme, certaines interfaces acoustico-phonétiques sont préfixées de même que sur le plan visuel certaines singularités physiques le sont également, comme les traits horizontaux. On peut également rajouter la perception des traits du visage et tous les éléments permettant le phénomène de l'empreinte sous-jacente à l'attachement. La meilleure connaissance de ces cartes et métacartes ne lève cependant pas l'aporie classique de la philosophie de la représentation et celle de la conscience. Qui est le destinataire ultime de la représentation? Qui regarde ces cartes? L'aporie de la représentation ne trouve dans la paradigme fonctionnaliste qu'une résolution par la théorie implicite de *l'homonculus* (le petit homme à l'intérieur du cerveau qui regarde les représentations fournies par la perception). Des solutions ont bien été proposées. L'une d'elles consiste à postuler l'existence de superviseurs hiérarchiquement emboîtés et capables d'interpréter chacun son tour les cartes construites par ses subalternes. Une telle solution est ruineuse sur le plan théorique et aboutit à une mise en abîme du problème de la décision. Qui en fin de compte décide du sens de la représentation? Les neurosciences ont récemment (1995) avancé des propositions nouvelles. Pour Edelman, la conscience résulte d'un triple mécanisme : en premier lieu par un bouclage

des sorties des métacartes sur les entrées, comme dans un processus de mise en résonance par rétrocontrôle, puis une mise en valeur qui permet de donner au système les moyens de juger de la qualité des réponses données à tel ou tel type de stimulation et d'orienter son apprentissage en vue d'une optimisation. Ces deux processus permettent déjà de créer des fonctions de mémorisation et de décision. Enfin, Edelman fait l'hypothèse de l'existence d'un troisième processus permettant au système qui s'adapte le mieux d'obtenir un avantage sélectif dont les fondements pourraient être transmis à la descendance[11]. Sur un plan plus neurophysiologique, Eccles a proposé en 1986 une nouvelle hypothèse sur l'interaction esprit/cerveau à partir de la physique quantique : l'hypothèse des micro-sites. Il définit localement des interactions entre des unités fonctionnelles neuronales dites « dendrons » avec des unités psychiques dites « psychons »[12, p.257]. Mais toutes ces tentatives peuvent difficilement lever l'impasse logique de la conscience inhérente à l'usage de la notion de représentation. En résumé, la grande réussite du fonctionnalisme est sans conteste d'avoir prouvé qu'en utilisant des systèmes modulaires traitant des données encapsulées avec des règles logiques, on pouvait simuler des facultés humaines de haut niveau. Son grand échec réside dans l'impossibilité de pouvoir penser une genèse de ces systèmes qui ne fasse pas appel à une surenchère génétique et dans l'incapacité de pouvoir répondre à la question de la destination de la représentation, concept central du paradigme.

## II - Le Connexionnisme

La seconde branche des sciences cognitives, nommée connexionnisme ou paradigme *subsymbolique* est déjà ancienne puisque les premiers systèmes simulant le fonctionnement du système perceptif au travers de réseaux de neurones artificiels datent de la fin des années cinquante avec les travaux de Rosenblatt [45] puis ceux de Minsky et Papert [41]. Ils ont été actualisés par le fort développement des techniques de traitement des images et de la reconnaissance des formes. Le connexionnisme propose d'aborder la cognition grâce à des réseaux d'automates dont les propriétés de calcul les rapprochent des neurones biologiques. Les premières applications ont simulé les

phénomènes perceptifs inscrivant ainsi le connexionnisme dans le courant philosophique de l'empirisme. La thèse épistémologique sous-jacente au connexionnisme est que le monde est un donné en soi et nous pouvons le connaître au travers de notre activité perceptive en nous laissant transformés par les traits organisateurs présents dans la réalité externe.

### *Le neurone formel*

La simulation des opérations cognitives est abordée par la constitution de réseaux de neurones formels, capables de recevoir en entrée des informations sous la forme de valeurs numériques, d'en faire un traitement, et selon ses résultats, de générer une information de sortie vers un autre neurone formel. Chaque neurone formel possède des caractéristiques propres, en particulier un seuil de déclenchement, assimilable à un poids synaptique dont le dépassement implique la décharge du neurone, c'est-à-dire la transmission d'une information de sortie. Comme les neurones formels sont interconnectés entre eux, leur niveau d'interconnexion définit des couches. On distingue une *couche d'entrée* contenant les neurones formels qui vont recevoir les informations primitives, puis après un certain nombre de couches intermédiaires dites *couches cachées*, une *couche de sortie* qui contient les neurones finaux transmettant les informations de sortie traitées par la totalité du réseau. Au contraire des systèmes symboliques qui codent les informations dans des symboles pour les traiter de façon séquentielle, les systèmes connexionnistes traitent les informations en parallèle. L'ensemble du réseau et des couches de neurones formels est modifié par les informations en entrée. Suivant les phases d'apprentissage, consistant à présenter les stimuli d'entrée un grand nombre de fois, les poids synaptiques des neurones formels sont modifiés. Il se définit alors petit à petit dans les couches cachées du réseau un *attracteur* vers lequel convergent l'ensemble des valeurs des poids synaptiques qu'on assimile alors à des *trajectoires*.

La figure 6 représente la structure logique d'un neurone formel d'après Amit [1, p.18]. Le cercle large  $i$  représente le corps cellulaire (soma). Le soma est relié par un certain nombre d'entrées  $J_{iN}$ . Chaque entrée est une combinaison d'une dendrite et d'une

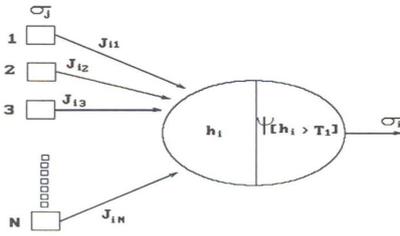


FIGURE 6 – Structure d’un neurone formel.

synapse. Les canaux d’entrée dans le soma sont activés par des signaux qu’ils reçoivent des boîtes logiques auxquels ils sont connectés. Ces petites boîtes sont les axones présynaptiques et leur nature logique est exprimée par le fait qu’ils peuvent être soit activés (avec un potentiel *spike*) ou non activés si l’activité présynaptique est en dessous du seuil du neurone présynaptique. Le potentiel postsynaptique, déclenché sur le neurone formel  $i$  par  $h_i$  peut être écrit sous l’expression d’une somme pondérée (d’après Amit [1]) :

$$h_i = \sum_{j=1}^N J_{ij} \sigma_j \tag{1}$$

ou  $N$  est le nombre de neurones présynaptiques. L’opération globale effectuée par le neurone formel peut être représentée par la fonction de vérité logique :

$$\sigma_i = \psi[h_i > T_i] \tag{2}$$

ou  $\psi[x]$  est une fonction si 1 est l’état de l’expression entre crochet et 0 dans les autres cas. La variable  $\sigma$  indique, en langage neuronal, si le potentiel d’action (*spike*) apparaît dans l’axone de sortie.

Ces deux formules expriment le fait que les informations présentées en entrée d’un réseau de neurones et possédant des caractéristiques semblables vont s’accumuler jusqu’à ce que le seuil préfixé du réseau soit dépassé, l’amenant vers la décharge. Cette notion de franchissement de seuils selon les niveaux

d’activité permet de faire un traitement de l’information à partir de connexions de neurones logiques. Toutes les opérations logiques peuvent être effectuées comme le montre la figure 7, mais avec la particularité remarquable d’intégrer une dynamique temporelle. Le temps et la logique ne sont plus exclusifs car la résolution d’un problème logique nécessite intrinsèquement une durée de résolution.

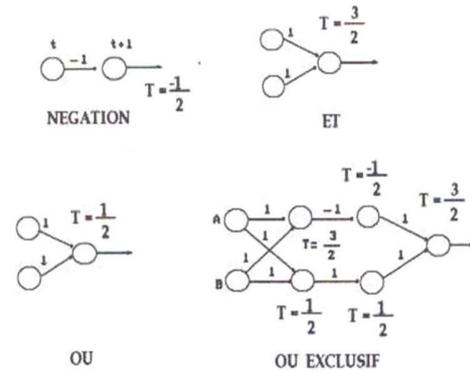


FIGURE 7 – Opérations logiques de base réalisées par des neurones formels.

*Typologie des réseaux*

En pratique, la création d’un réseau de neurones nécessite le formatage des données sous une forme qui soit reconnaissable par la couche superficielle du réseau (neurones d’entrée). Puis on choisit le type de réseaux que l’on veut utiliser. On présente alors les données en entrée en modifiant petit à petit les poids synaptiques et les autres paramètres afin de parvenir au but recherché, si l’on est en apprentissage supervisé. On laisse par contre le réseau évoluer tout seul vers son état stable, si l’on est en apprentissage non supervisé. Voici la liste des principaux types de réseaux neuromimétiques avec leurs principales caractéristiques :

1. *Perceptron*. Premier en date des réseaux de neurones, ce système comporte trois couches dont deux effectuent des traitements et une, la rétine, assure la réception des signaux. Le système fonctionne suivant une loi de convergence qui renforce l’activation d’un neurone si celui-ci est activé. La figure

suiivante montre sa structure logique. Le carré quadrillé représente la couche d'entrée discrétisant les inputs qui sont ensuite traités par la couche associative par une loi de convergence vers l'unité de sommation avant d'effectuer une réponse en sortie en 1 ou 0.

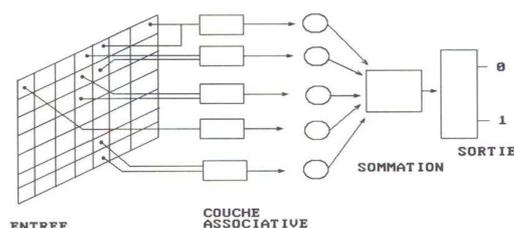


FIGURE 8 – Structure d'un réseau de neurones formels de type Perception Mark-1.

Au cours du temps, cette règle de convergence aboutit à la création d'attracteurs dans la couche moyenne du réseau. Particulièrement efficaces pour le traitement des données spatiales, ces systèmes permettent de reconnaître des formes approximatives et de les comparer à des pattern appris, codés de façon délocalisée dans le réseau, permettant le fonctionnement d'une mémoire associative. Si un stimulus n'est pas trop éloigné de la forme apprise durant la phase d'apprentissage, alors il sera reconnu comme étant cette forme. Le problème de la catégorisation des connaissances est particulièrement bien résolu par ce type de système qui accepte l'incertitude et la vectorise sous forme d'écart au centre de l'attracteur.

2. *Adaline* est un réseau spécialisé dans le traitement du signal fonctionnant à partir d'une règle d'apprentissage. Cette règle permet de réduire l'erreur observée entre l'état du réseau et la valeur correcte attendue par une modification des connexions des neurones de façon à la minimiser (par descente de gradient). Ce système est capable d'orienter seul des antennes en direction des signaux herziens.
3. *L'associateur linéaire* est un modèle de réseau à deux couches avec une fonction d'activation linéaire utilisant la règle de Hebb. Hebb a proposé en 1949 l'idée que le cerveau s'adapte à son environnement en mo-

difiant l'efficacité des connexions entre ses neurones [27]. Le principe de Hebb postule qu'une synapse améliore son efficacité seulement quand l'activité des deux neurones qu'elle relie est corrélée. Ce principe, repris par les différentes théories de l'épigénèse interactionnelle, peut être décrit de la façon suivante (d'après Jodouin [31]),

$$\mu_{ij} = \bar{y}_i \bar{y}_j \quad (3)$$

où  $\mu_{ij}$  représente l'efficacité de la connexion entre les neurones  $i$  et  $j$  et  $\bar{y}_i$  et  $\bar{y}_j$  représentent la moyenne des activités des neurones  $i$  et  $j$  pouvant prendre les valeurs (0,1).

4. *Les réseaux récurrents* permettent une interconnectivité quasi totale entre les neurones des différentes couches, y compris éventuellement en se bouclant sur eux-mêmes. Ils permettent la résolution de problèmes qui ne peuvent être résolus de façon algorithmique.
5. *Le réseau de Hopfield* inspiré des modèles physiques des *verres de spin* est constitué d'éléments bistables à connexions symétriques évoluant spontanément vers une réduction de l'énergie totale du système. Associé avec la règle de Hebb, ce réseau peut apprendre à mémoriser les exemples présentés en entrée sous la forme d'états stables. En phase d'exploitation, les stimuli présentés en entrée évolueront dans le réseau vers l'état stable le plus ressemblant. Un réseau de Hopfield fonctionne ainsi comme un véritable *classificateur* à mémoire associative. Cependant il existe une marge non négligeable d'erreurs due à l'existence d'états métastables, parfois très proches des états stables correspondant à une classification correcte.
6. *Dans un réseau compétitif*, chaque neurone d'entrée est relié à chaque neurone de sortie et chaque neurone de sortie inhibe tous les autres et s'autoexcite. Cette architecture génère une compétition interneurones aboutissant à ce que le réseau a tendance à reproduire *l'organisation topographique des formes d'entrée*. En d'autres termes, si l'on présente à ce type de réseau des objets quelconques, le réseau va reproduire dans ses états internes ses traits structuraux. Sur le plan visuel, par exemple, un objet sera assimilé dans le réseau à ses discontinuités et ses symétries qui le constituent comme forme. Sur le plan auditif, un phonème sera assimilé à l'ensemble de ses traits distinctifs. Ce type de réseau est donc capable de réaliser seul une véritable *analyse structurale*. Ce qui présente un intérêt épistémique considérable, puisque ces

systèmes seraient capables de dégager les structures sous-jacentes à la phénoménologie du réel.

Pour l'ensemble des réseaux, la présentation de stimuli en entrée aboutit progressivement à la génération de noyaux énergétiquement denses dans les couches profondes. Ces noyaux denses correspondent aux traits structuraux des objets présentés en entrée. En phase d'exploitation, les formes présentées en entrée de réseau sont alors *attirées* vers les attracteurs et ainsi reconnues par leur activation, à la condition que les coordonnées du stimulus ne soient pas trop éloignées de celles acquises par apprentissage et qu'elles restent incluses dans le bassin d'attraction de chaque attracteur. Si elles sortent du bassin, alors elles sont attirées vers un attracteur voisin qui sera activé (changement d'état) et le processus s'apparentera à une catégorisation, phénomène de base des opérations de pensée.

#### La mémoire

La publication du livre de Amit *Modeling Brain Function* en 1989 a suscité un vif intérêt car il présente des résultats obtenus sur des réseaux de neurones simulant quelques grandes fonctions psychologiques à partir d'une syntaxe d'attracteurs neuronaux (ANN) [1] pouvant interagir entre eux et évoluer dans le temps. Amit a proposé par exemple [1, p.328] une modélisation des limites de la mémoire à court-terme (7 plus ou moins 2 items) à partir d'un réseau de 500 neurones, nombre minimum pour parvenir à une capacité de rappel identique à la mémoire biologique. Selon lui, la mémoire à court terme « pourrait bien être le premier contact direct entre les modèles d'attracteurs neuronaux (ANN) et la phénoménologie psychologique » [1]. Une des réussites les plus exemplaires des réseaux de neurones consiste dans leur conception *énergétique* de la mémoire. Selon ces modèles, les attracteurs du réseau sont des *minima* de potentiel et donc des *maxima* de stabilité. En projetant une telle thermodynamique de réseaux sur les phénomènes de mémoire, il est possible de se représenter les souvenirs conscients comme des *maxima* de stabilité. Les attracteurs psychiques attirent à eux les états intermédiaires générant par

la modification des états de l'attracteur l'émergence d'un objet mental correspondant au souvenir.

#### Rêve et apprentissage

Les modèles connexionnistes rendent remarquablement bien compte des phénomènes d'apprentissage. Les délais nécessaires à la conservation en mémoire et aux fonctions acquises par apprentissage s'expliquent par les délais de stabilisation du réseau en phase d'apprentissage et la nécessité de présenter les stimuli en entrée de façon répétée pour l'acquisition. L'apprentissage par stabilisation de réseaux a trouvé un développement extraordinaire avec la théorie de Jouvét du rêve comme vecteur de la programmation itérative [32]. L'argumentation de Jouvét est simple et d'une grande puissance. Il part du constat que les neurones du système nerveux des homéothermes adultes n'ont plus de capacité de division cellulaire. Comment comprendre alors la possibilité d'apprentissage qui perdure toute la vie? Le recours à une hypothèse de programmation génétique préalable définitive dès la naissance est inconcevable du fait de la plasticité du système nerveux qui est en perpétuelle réorganisation structurelle. Jouvét en vient alors à envisager l'hypothèse de l'existence d'une *programmation génétique itérative* qui serait assurée par le rêve. L'observation du comportement onirique des animaux, dont on a levé les inhibitions motrices, montre des comportements de prédation ou de parade. Jouvét propose alors la formule inverse de celle de Freud ; *le sommeil serait le gardien du rêve*. Jouvét suggère en fin de compte une intéressante hypothèse sociobiologique sur la fonction du rêve. En permettant la programmation itérative des comportements le rêve entretiendrait la variabilité psychologique au sein des populations et limiterait ainsi les phénomènes d'identification :

« Ainsi, soumis à une pression trop uniforme de l'environnement écologique ou socio-culturel (telle que toute idéologie totalitaire), le comportement des mammifères et de l'homme, privés de SP (sommeil paradoxal) et dépourvus de programmation génétique par neurogénèse continue, finirait par être calqué sur un modèle identique. Le rôle du sommeil paradoxal serait donc de maintenir les différences psychologiques entre individus et de ga-

rantir, au moins chez l'homme, une certaine liberté par rapport à l'environnement socio-culturel. »[32, p.172]

### Une théorie du délire

Les réseaux de neurones ont également été utilisés pour rendre compte des phénomènes psychopathologiques. Une modélisation des processus psychotiques par des réseaux de neurones a été tentée par Hoffman et rapportée par Amit [1, p.87]. La suggestion d'Hoffman est que les ANN (« attractors neural networks ») peuvent être considérés comme de images des fonctions supérieures. Sur le plan des styles linguistiques propres à la schizophrénie et à la manie, la modélisation par réseaux neuronaux peuvent les différencier. Selon Hoffman [30][1, p.88], la différence entre les deux désordres (« disturbances ») est caractérisée par le fait que le sujet maniaque est capable d'accéder à un unique plan cohérent fonctionnant comme Gestalt. Les désordres sont générés par des transitions (« shift ») irrégulières entre un plan d'organisation et un autre. Par contre, le désordre schizophrénique reflète un plan de discours formé de fragments disparates qui sont reliés (« patched ») dans une structure incohérente mais stable. Considérés sous l'angle des réseaux de neurones, la différence entre ces deux désordres ressemble à la différence entre le comportement d'un réseau bruité dans lequel le bruit provoque des transitions irrégulières d'un attracteur à un autre et les états étranges (« spurious state ») qui sont des agglomérats (« patches ») de fragments d'attracteurs. Une telle conception est très proche de celle proposée par Atlan pour rendre compte du délire au travers d'un système neuronal où certaines formes (attracteurs) seraient coupées de toute possibilité de modulation par la réalité externe :

« C'est donc que nous situons mal le délire quand nous y voyons un trouble de la relation réel-irréel, une projection illégitime de l'imaginaire dans le réel. Il n'y a en effet de connaissance évolutive que grâce à de telles projections. Mais alors où se situe le passage entre conscience délirante et conscience qui ne le serait pas, entre interprétation délirante et interprétation correcte si le critère n'est plus le degré de coller à la réalité, autrement dit la précision et le manque d'ambiguïté dans la reconnaissance des

formes ? Probablement non pas dans le contenu des interprétations, mais dans leur mode de fonctionnement. Le délire serait la fixation, dans un stade du processus d'interprétation qui resterait bloqué sur des patterns immuables à travers lesquels les événements nouveaux seraient reconnus sans feed-back<sup>6</sup> modificateur, de telle sorte que, petit à petit, la distance - l'ambiguïté - entre patterns de référence servant à la reconnaissance et événements nouveaux à reconnaître deviendrait de plus en plus grande, au point que le processus de reconnaissance et d'interprétation serait arrêté, et qu'il ne survivrait alors qu'en se refermant sur lui-même. »[3, p.147]

Cette application en psychopathologie est purement analogique. Les réseaux de neurones sont loin de pouvoir décrire une psychopathologie cohérente qui aurait la puissance d'explication de la psychanalyse, y compris pour des formes psychotiques qui sont les plus revêches à l'application du modèle analytique. Cependant, ces premiers pas vers la connaissance de l'implémentation neuronale des structures psychiques sont à prendre en considération car ils sont un premier essai de jonction entre une théorisation purement psychologique et une physique neuronale.

### Perspectives

La théorie des réseaux neuronaux fournit une solution élégante à l'aporie de la représentation. Au sein des systèmes de réseaux de neurones, la représentation des objets externes au réseau est délocalisée entre les différents poids synaptiques des neurones formels. Dans un réseau de grande dimension, les représentations sont alors codées *topologiquement*. Au contraire des systèmes symboliques qui relient ces représentations par des opérations de concaténation séquentielle, les modèles connexionnistes permettent de penser l'existence de niveaux superposés de représentations codées topologiquement dans des configurations d'activités neuronales. Il est alors possible de penser des relations d'isomorphisme entre ces niveaux [51, p.95] ainsi que la *propagation d'informations topologiques* d'un niveau à l'autre. Le paradigme subsymbolique des modèles

6. Dans les réseaux neuromimétiques, les feed-back s'apparentent aux réseaux compétitifs où les sorties bouclent sur les entrées.

connexionnistes permet ainsi de lever l'aporie de la représentation présente dans le fonctionnalisme en proposant une modélisation où il n'y a pas d'écart symbolique entre les traits de l'objet et leur existence implémentée dans un réseau mais une véritable identité ontologique. Cette conception ouvre également des perspectives nouvelles en réintroduisant la notion d'énergie pour décrire les états mentaux. Le grand apport des modèles connexionnistes est au fond de renforcer l'idée que les représentations possèdent non pas une localisation fixée dans telle ou telle structure neuronale sous la forme d'assemblées neuronales fonctionnant en cycles réverbérants « à la Hebb » [27] mais bien une organisation délocalisée de nature topologique dont l'existence est corrélée à un certain degré d'investissement énergétique. Les sciences cognitives ont ainsi remis en critique les fondements de la représentation. Au lieu de la concevoir classiquement comme une entité abstraite représentant la chose, et se déployant dans l'espace indéfini des objets mentaux, la théorie des réseaux de neurones propose que les objets du monde peuvent être codés physiquement dans l'espace des poids synaptiques internes aux couches neuronales d'un réseau. Les objets sont alors représentés sous la forme d'*attracteurs* existant de façon délocalisée dans les couches cachées du réseau. Ces attracteurs possèdent une dimension énergétique. Les modifications de la température globale du réseau, obtenues en variant le « bruit » de fond de l'activité du réseau, génèrent des changements d'états des attracteurs et de leur *stabilité structurelle*. Les différents attracteurs présents dans les réseaux sont alors amenés à interagir entre eux et à générer d'autres structures. La dynamique interactive de ces attracteurs sous-jacente à l'émergence des structures rappelle les conceptions de René Thom, comme le note Visetti :

« De surcroît, il paraît juste de rappeler ici sa profonde parenté (le modèle connexionniste) avec le programme que R. Thom a lancé il y a plus de vingt ans maintenant, sous le nom de théorie des catastrophes, ou de théorie de la morphogénèse, et qui s'est développé autour des concepts de système dynamique de stabilité structurelle, de conflit ou bifurcation d'attracteur. À la même époque où Minsky et Papert achevaient leur critique du perceptron, Thom, le premier, proposait d'analyser à

partir des concepts dynamiques les discontinuités fondamentales de notre monde phénoménologique. La modification des formes perçues ou des qualités sensibles, aussi bien que le « déploiement » au sens linguistique dans l'énonciation, pouvaient selon lui relever d'une même approche morphodynamique. Le privilège ontologique et épistémologique accordé à la fois au déterminisme et au continu, voire au différentiable dans les modèles de Thom les distingue évidemment des modèles connexionnistes. Mais l'existence d'une terminologie, de principes et de domaines de modélisation communs est indéniable » [57, p.196].

### III - Auto-organisation et émergence

Le troisième paradigme des sciences cognitives, dit « paradigme de l'auto-organisation et de l'émergence » est un constructivisme. Ses principes de bases sont enracinés dans cette tradition philosophique où le monde est construit par le sujet au travers de leurs interactions.

1. La constitution du monde réside dans une interaction constante avec l'activité cognitive du sujet. Il n'existe pas de relation d'antériorité de l'une sur l'autre.
2. La constitution du monde n'émerge pas de l'interaction avec un seul sujet, mais comme la co-construction d'un ensemble de sujets (agents) engagés dans des *complexes d'activité*.
3. Le monde et le sujet sont dans un rapport d'élaboration réciproque selon lequel le sujet se définit comme unité *autopoïétique* et le monde comme son domaine d'interaction. Varela définit ainsi la notion de système autopoïétique :

« Un système autopoïétique est organisé comme un réseau de processus de production de composants qui (a) régénèrent continuellement par leurs transformations et leurs interactions le réseau qui les a produits et qui (b) constituent le système en tant qu'unité concrète dans l'espace où il existe en spécifiant le domaine topologique où il se réalise comme réseau. » [56, p.45].

Cette émergence des modèles de l'auto-organisation s'inscrit dans la classification de l'histoire de la pensée en trois grands moments [8] décrits par Deleuze dans sa lecture de l'œuvre de Michel Foucault :

1. *La pensée infinie par déploiement* de la période classique où les forces de l'homme (imaginer, se souvenir, concevoir, vouloir, savoir) entrent en rapport avec des forces d'élévation à l'infini.
2. *La pensée humaine par repliement* de l'époque positiviste où les forces dans l'homme rencontrent des forces de finitude (la vie, le travail, le langage). Les forces dans l'homme se replient sur cette nouvelle dimension de finitude en profondeur, qui devient alors la finitude de l'homme, objet des sciences humaines.
3. *La pensée récente par combinaison* de finillimité où un nombre fini de composants donne une diversité pratiquement illimitée de combinaisons, ouvrant ainsi des perspectives nouvelles sur l'organisation des systèmes et déplaçant l'ancienne frontière entre sciences de la nature et sciences de l'homme.

### Principes

L'auto-organisation implique que les règles soient intérieures au système qui est ainsi informationnellement clos, alors qu'il est thermodynamiquement ouvert selon la formule d'Atlan [3, p89]. Une telle définition pose le problème de fond de la partition du domaine d'interaction. Tout système opère dans le monde physique une partition qui ne vaut que pour lui. Le problème est alors de comprendre comment un système peut opérer cette partition et être le sujet de sa propre ontogénie. En réponse à ce problème, LeMoigne a proposé une construction génétique des systèmes auto-organisés en neuf niveaux de complexité croissante [35]. Chaque niveau intègre tous les caractères des niveaux inférieurs (Cf. la figure 10).

- I *L'objet est identifiable*. L'objet est différentiable de son environnement. Il s'en détache par l'établissement de limites séparant un intérieur d'un extérieur. Ses limites ont généralement la topologie d'une surface.
- II *L'objet est actif*. L'objet agit et est reconnu par son activité. L'objet est pénétré par des éléments venant

du monde externe et il agit sur lui. L'objet est informé sur la réalité externe et il peut agir sur elle et ainsi être informé secondairement des résultats de son action.

- III *L'objet actif s'autorégule*. Les actions de l'objet sont régulées par rétroaction donnant naissance à des boucles de régulation. Les entrées sont asservies aux sorties et permettent une rétroaction positive (excitatrice) ou négative (inhibitrice).
- IV *L'objet s'autoinforme*. Les boucles de régulation aboutissent à la naissance de l'information dans le système. En s'informant sur son propre comportement, le système s'autorégule de façon encore plus efficace. Le problème posé est de savoir si ces informations peuvent être considérées comme des représentations.
- V *L'objet décide*. Ce niveau traduit l'émergence de la décision dans le système sous la forme d'un processeur décideur agissant sur le flux informationnel.
- VI *L'objet mémorise*. Les systèmes de ce niveau stockent de l'information et peuvent en faire une copie à la demande. Selon Atlan, « il suffit qu'un phénomène physique présente une propriété d'hystérésis<sup>7</sup> pour qu'on ait une possibilité de mémoire. » [3, p141]
- VI *L'objet se coordonne*. Les systèmes de ce niveau sont capables de suivre une certaine finalité, en utilisant un sous-système appelé « système d'information » pour faire communiquer le sous-système de pilotage à son système opérant.
- VIII *L'objet actif imagine*. Les systèmes de ce niveau sont capables de s'adapter, d'inventer de nouveaux réglages, de nouvelles organisations.
- IX *L'objet actif s'autofinalise*. Ce dernier niveau traduit l'émergence de la conscience dans un système.

L'auto-organisation stipule qu'un système poussé uniquement par sa nécessité homéostatique peut développer en son sein des niveaux cognitifs de hiérarchie croissante allant jusqu'à des niveaux d'auto-observation. L'application type en intelligence artificielle des modèles de l'auto-organisation est celle des systèmes multi agents. Ils sont composés de la manière suivante :

7. L'hystérésis est une propriété de certains systèmes dynamiques qui leur permet moyennant certaines conditions de revenir à une forme énergétique initiale, après un certain délai imprévisible.

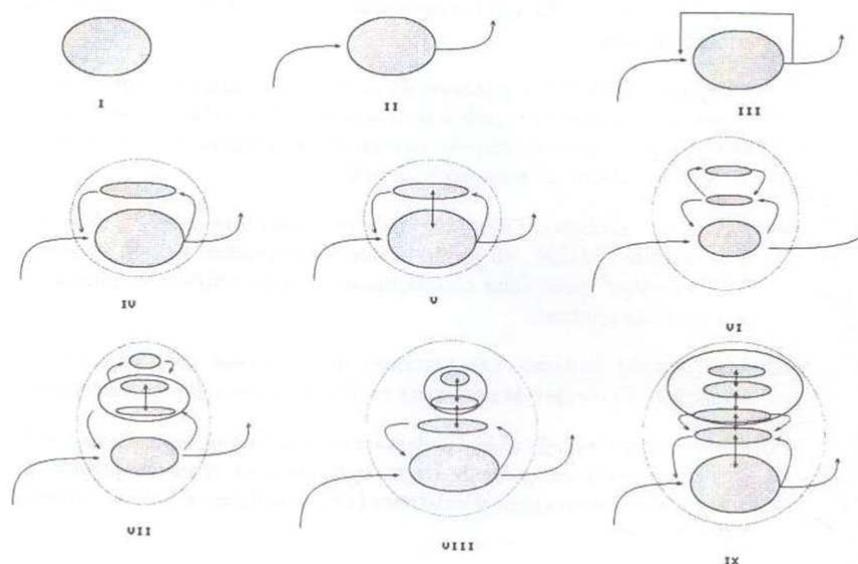


FIGURE 9 – Étapes de l'auto-organisation d'un système avec émergence progressive de structures cognitives.

1. On définit informatiquement un micro-univers doué de propriétés particulières et soumis à des contraintes pareillement prédéfinies.
2. On immerge dans cet univers un certain nombre d'unités dits « agents » munis de quelques fonctions primitives généralement assez simples, d'un peu de mémoire, et capables de communiquer entre eux au travers de tables d'inscriptions de leurs actions en cours, lisibles par les autres acteurs.
3. On laisse l'ensemble du système micro-univers plus acteurs évoluer spontanément.
4. On observe les configurations créées par l'évolution aboutissant à une auto-organisation du système.
5. On modifie les propriétés de l'univers ou celles des fonctions primitives et l'on observe les nouvelles configurations autoémergentes.

Ces processus sont rendus possibles du fait de la composition du systèmes en agents. Ce sont des éléments de calcul autonomes pouvant effectuer un très grand nombre d'opérations de traitement dans un temps très court. Ils peuvent ainsi épuiser très rapidement

toutes les combinatoires possibles ouvertes par les conditions initiales imposées. Comme de plus, tous ces agents travaillent indépendamment les uns des autres, du moins au début, l'ensemble du système possède une grande puissance de travail qui aboutit à ce que les différents agents s'orientent progressivement vers des solutions communes qui apparaissent alors comme des structures émergentes. Il est alors possible de simuler des systèmes biologiques à partir d'agents dont on connaît les caractéristiques, puis d'observer si la modélisation correspond à la réalité des phénomènes étudiés.

#### *Systèmes immunitaires et nerveux*

La modélisation du système immunitaire par Varela [56] est la plus célèbre de ces simulations. En bref, elle stipule que le système immunitaire est un système cognitif doué de propriétés d'autoémergence lui permettant de posséder des fonctions de reconnaissance, de mémoire et d'apprentissage. À contre-

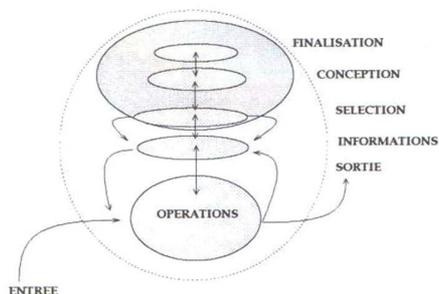


FIGURE 10 – Dernière étape de la génération d'un système d'auto-organisation (d'après LeMoigne).

courant de toute la psychophysiologie, Varela tente de faire admettre que le système nerveux central est un système clos dont la fonction n'est *pas* le traitement des informations. Selon Varela, le système nerveux central possède une fonction quasi-plastique d'interactivité avec la réalité extérieure par la modulation des flux internes par les stimuli externes. Selon cette conception autopoïétique, le système nerveux est un système fermé mais sensible aux *perturbations*. Les restructurations qui sont amenées à compenser ses déformations ne dépendent que de lui et ne font pas appel à d'autres sources. Sa cognition est donc fondamentalement liée à ces réactions. L'organisme, englobant le système nerveux ne peut donc connaître son milieu d'une façon *objective*, mais par les deux sources de transformations dynamiques que sont sa régénération par autopoïèse et sa restructuration aux perturbations. Il n'est donc pas dirigé par des buts, fonctions ou intentions, ni par des programmes génétiques de développement. Intention, but, et fonction ne sont pas des aspects de l'organisation d'un système mais des notions qui appartiennent au discours de son observateur, en tant que celui-ci est un second système qui interagit avec le premier. Les modèles autopoïétiques et les systèmes multi agents fournissent une assise assez réaliste à l'ensemble des travaux sur les interactions entre le nourrisson et ses partenaires. La question de l'existence d'un état anobjectif et celle de la compétence interactive du

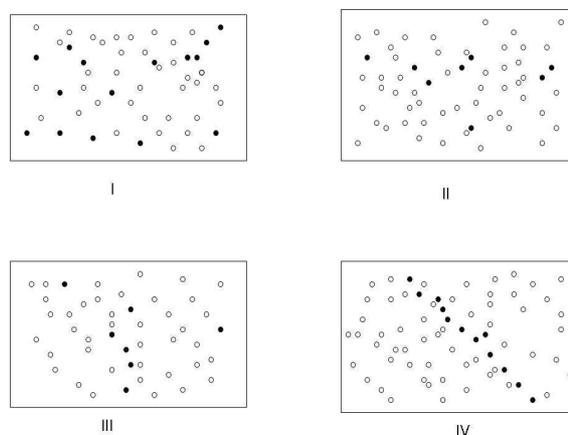


FIGURE 11 – Système multi agents faisant émerger une structure.

nourrisson et donc d'un objet libidinal préexistant, inné, peut être résolue, au moins sur le plan conceptuel, par le modèle autopoïétique. En considérant le psychisme de l'enfant et celui de sa mère comme constituant entre eux des systèmes cognitifs autopoïétiques, autonomes, et capable d'autogénérer de la signification, uniquement à partir des intermodulations de leur coprésence, il est possible de concilier la notion d'un état anobjectif du nourrisson, (le narcissisme primaire peut être *une* des formulations de l'autopoïèse biologique), avec la notion d'*interactions instructives* où la rencontre de l'autre amène des perturbations du système devant être autorégulées par une modification holistique de l'ensemble du système.

### Émergence du langage

Le développement des théories de l'autopoïèse ne s'est pas limité à une nouvelle description de systèmes biologiques, mais s'est étendu de façon globale à des problèmes d'un autre ordre, comme celui de la naissance du langage selon Maturana [38] :

« Si les organismes interagissant en tant que systèmes dynamiques ont des structures qui changent dynamiquement, et s'ils sélectionnent réciproquement dans chacun un chemin d'évolution structurale ontogénique par leurs interactions alors

ils génèrent comme un domaine de communications interactives récursivement en expansion des ontogénies imbriquées. Ceux-ci constituent un domaine de comportements consensuels qui sont déclenchés mutuellement et qui deviennent spécifiés pendant sa génération. Un tel domaine d'interactions communicatives, dans lequel les organismes de comportement couplé s'orientent l'un et l'autre par des modes de comportement dont la détermination interne est spécifiée pendant leurs ontogénies couplées, est un domaine linguistique. »[38, p.119]

### Biologie théorique

Le développement des modèles de l'auto-organisation a amené la création d'un courant de pensée actif aux Etats-Unis dont le projet n'est rien de moins que de chercher à créer les conditions d'une *Artificial Life* [34]. Les recherches en vie artificielle essayent de réaliser des comportements simulant les processus vitaux (« lifelike behavior »). Cette simulation utilise des systèmes artificiels composés de populations d'entités semi-autonomes dont les interactions locales sont gouvernées par des règles simples. Le système, à un niveau global, ne possède pas de règles et les dynamiques structurelles de haut niveau qui sont observées dans ces systèmes sont donc totalement autoémergentes. Ces dynamiques structurelles sont autogénérées par les interactions locales entre les primitives de bas-niveau après un processus de *développement embryologique*, dans lequel les hiérarchies locales des structures de haut niveau se développent en compétition avec les entités de bas niveau. Ces structures jouent un rôle vital dans l'organisation du comportement des entités de bas niveau par l'établissement du contexte dans lequel ces entités utilisent leurs règles. Par conséquent ces structures peuvent évoluer dans le temps [34]. Cette conception holistique stipule que l'adaptation ontogénique d'un système vivant se développe par la sélection de structures qui permettent l'autopoièse de ce système. Ces structures doivent permettre à un organisme de suivre l'évolution dynamique de son milieu. Ces systèmes sont amenés à se reproduire et la reproduction s'achève quand un organisme en produit un deuxième avec une organisation semblable à la sienne et capable de survivre comme unité autopoiétique. L'apport le plus spectaculaire

des modèles de l'auto-émergence consiste dans la critique des conceptions attribuant au génome une fonction de codage des caractères. Ainsi, selon le biologiste John Stewart :

« ...le concept selon lequel les gènes créent des caractères en conformité avec un programme génétique ne résiste pas à l'examen critique. En fait, les caractères ne sont pas transmis, ils sont construits au cours de l'ontogénèse de chaque individu; et l'analyse scientifique de ce processus dynamique de construction ne requiert nullement une distinction entre facteurs exogènes et endogènes. Ce qui est proposé ici revient en fait à une redéfinition de l'hérédité, non plus en termes de la seule transmission de gènes, mais en termes de l'instanciation répétée des conditions nécessaires au déroulement régulier de l'ontogénèse. Puisque toute théorie de l'évolution repose effectivement sur une théorie de l'hérédité, ceci représente un renouveau considérable de notre compréhension scientifique de la phylogénèse. »[53, p.170]

Dès lors il est acceptable de considérer que des transformations acquises durant la vie des organismes pères et qui ont été nécessaires au maintien de l'autopoièse soient transmises à la descendance. L'intelligence artificielle appliquée à la compréhension des phénomènes vitaux retrouve ainsi le biolamarckisme que l'on pouvait penser définitivement mort depuis la consécration du néodarwinisme. La loi de Haeckel de l'ontogénèse récapitulant la phylogénèse retrouve une nouvelle jeunesse de même que les conceptions bioanalytiques de Freud et de Ferenczi sur la persistance dans l'organisation du psychisme de l'homme des rejets des temps immémoriaux du début de la vie biologique. Ce n'est pas le moindre des paradoxes que de voir les mouvements les plus novateurs des sciences cognitives réactualiser aujourd'hui des idées contemporaines de la naissance de la psychanalyse.

## IV - Et la psychanalyse ?

Les sciences cognitives se caractérisent par une vision pragmatique des problèmes posés de tous temps à la philosophie de la connaissance. Fodor a parfaitement conscience d'enraciner le paradigme symbolique dans la vieille théorie cartésienne des facultés mentales, le connexionnisme connaît sa dette vis-à-

vis de l'empirisme, et les promulgateurs des modèles de l'auto-émergence s'inspirent de bien des aspects du constructivisme piagetien [9]. Cependant les aspects philosophiques de la cognition sont en seconde ligne par rapport à la démonstration de l'efficacité des modèles. Toute proposition théorique ne peut être reçue dans la communauté des sciences cognitives que si elle a été testée sur ordinateur et a démontré sa cohérence interne. Il est difficile aujourd'hui de proposer un modèle cognitif que sa cohérence interne n'ait été auparavant testée par son implémentation informatique. Cette caractéristique constitue un des fondements de la nouvelle rationalité générée par les sciences cognitives. Sur ce point, la simulation des processus constitue un pas en avant considérable sur le plan épistémique, comparable en ce qui concerne les sciences de l'homme aux avancées fournies dans l'histoire des sciences par l'arrivée d'instruments tels que le télescope ou le microscope. Cette avancée est encore l'objet d'une incompréhension de la part de beaucoup de chercheurs en sciences humaines, et en psychanalyse, elle suscite une suspicion encore plus grande. Pourtant les modèles cognitifs sont les héritiers de nombre de propositions métapsychologiques faites en son temps par Freud et cela est particulièrement sensible sur le thème de la *mémoire* qui nous servira de fil conducteur dans notre analyse des dettes et héritages qui lient les sciences cognitives à la psychanalyse.

### Le refoulement

La théorie de la mémoire utilisée par Freud dans la construction de sa métapsychologie est directement issue de la psychologie associationniste. La mémoire est composée de représentations diverses accumulées dans des systèmes associatifs isolés des processus de conscience mais accessibles à la recherche au travers de l'activité de souvenir. Freud a utilisé ce cadre très général mais lui a rajouté l'apport proprement psychanalytique, à savoir l'existence dans le psychisme de l'homme d'une région où les représentations mises en mémoire ne sont pas accessibles au travers de l'attention consciente et sont issues du refoulement. L'inconscient est le lieu où ces représentations sont conservées à l'abri du temps et elles ne peuvent être accessibles, ou plutôt déchiffrées, qu'au travers

de ses productions. Les représentations inconscientes cherchent à devenir conscientes et elles ne doivent leur maintien dans le système inconscient qu'au travers d'un processus actif, celui de la censure réactivant constamment le processus de refoulement. Cette description très basale serait incomplète si nous ne mentionnions pas tout de suite que le refoulé, ensemble des éléments constitutifs de l'inconscient, ne portait la marque de l'infantile, dans la mesure où l'enfance constitue le temps des premiers refoulements (secondaires) et du sexuel, dans la mesure où sont essentiellement refoulés des motions de désir liées à la sexualité. Si l'on considère maintenant ce schéma très basal du fonctionnement psychique sur un angle cognitif, une difficulté surgit immédiatement. En divisant l'appareil psychique en topiques séparées, ce qui est nécessaire pour rendre compte des phénomènes de refoulement, on est amené à devoir postuler la coexistence d'informations (pour prendre un terme cognitif) de même nature dans des systèmes différents. Pour pouvoir refouler un désir inconscient de nature sexuelle par exemple, il faut que le moi puisse reconnaître sa nature. Or pour qu'il puisse reconnaître ce désir, il faut bien que le moi connaisse de par lui-même son caractère dangereux, donc qu'il en possède une certaine représentation. Dès lors, pour la cohérence logique (sur le plan d'une cognition de type « traitement de l'information ») il est nécessaire de postuler une *inscription* multiple de l'information, comme le souligne Freud dans l'exposé de sa première topique,

« Ce qu'il y a d'essentiellement neuf dans ma théorie, c'est l'idée que la mémoire est présente non pas une mais plusieurs fois et qu'elle se compose de plusieurs signes. Dans mon étude sur l'aphasie, j'ai jadis soutenu l'idée d'un semblable aménagement des voies venant de la périphérie. J'ignore le nombre de ces enregistrements. Ils sont au moins trois et probablement davantage. Le schéma ci-dessous (Cf. la figure 12) illustre cette façon de voir. Il montre que les diverses inscriptions sont aussi séparées (pas nécessairement du point de vue topographique) par rapport aux neurones qui les transportent... »

La conception freudienne du refoulement est une conception symbolique au sens cognitif du terme. Le refoulement est un défaut de traduction d'un langage dans un autre, d'un système de signes dans un autre

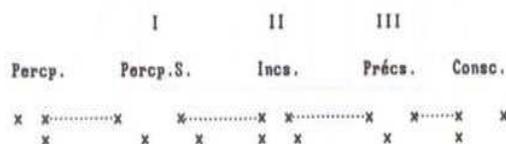


FIGURE 12 – Première ébauche de la première topique, *Lettre Fliess*, N° 52, 1896.

système de signes. Freud décrit ainsi la première topique en distinguant les différents systèmes constitutifs, puis définit le refoulement comme traduction défectueuse :

Percep. - Ce sont les neurones où apparaissent les perceptions et auxquels s'attache le conscient, mais qui ne conservent en eux-mêmes aucune trace de ce qui est arrivé, car le conscient et la mémoire s'excluent mutuellement<sup>8</sup>.

Percep. S. - constitue le premier enregistrement des perceptions tout à fait incapable de devenir conscient et aménagé suivant les associations simultanées.

Incs. (l'inconscient) - est un second enregistrement ou une seconde transcription, aménagée suivant les autres associations - peut-être suivant des rapports de causalité. Les traces de l'inconscient correspondraient peut-être à des souvenirs conceptionnels et seraient aussi inaccessibles au conscient.

Préc.(le préconscient) - est la troisième transcription liée aux représentations verbales et correspondant à notre moi officiel. Les investissements découlant de ce Préc. deviennent conscients d'après certaines lois. Cette conscience cogitative secondaire, qui apparaît plus tardivement, est probablement liée à la réactivation hallucinatoire de représentations verbales; ainsi les neurones de l'état conscient seraient encore des neurones de perception et en eux-mêmes étrangers à la mémoire... C'est le défaut de traduction que nous appelons en clinique *refoulement*. Le motif en est toujours la production de déplaisir qui résulterait d'une traduction; tout se passe comme si ce déplaisir perturbait la pensée en entravant le processus de la traduction.[18, Freud, 1896, p.156]

8. Souligné par Freud.

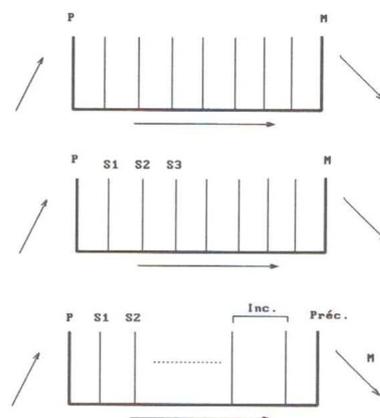


FIGURE 13 – Schéma de la première topique freudienne dans le chapitre VII de *L'interprétation des rêves*, 1900.

Cette conception freudienne de la mémoire est compatible avec les conceptions fonctionnalistes. Le cognitivisme classique, utilisant la notion de représentation et de règles logiques pour les traiter, implique l'existence de modèles mémoriels. Ces modèles calqués sur le fonctionnement des ordinateurs classiques, séparent les données mises en mémoire des processus de traitement. Le fonctionnalisme présente ainsi pour la psychanalyse un intérêt assez paradoxal. Il fournit en effet un argument de poids pour justifier de l'indépendance des niveaux de descriptions de la vie mentale. En justifiant que la description des opérations de pensée peut se passer de toutes références à la description du substrat organique, neuronal, il légitime ainsi l'autonomie de la vie psychique proposée par la psychanalyse, vis-à-vis de l'organisation neuronale sous-jacente. Dès lors la connaissance des processus neurophysiologiques n'apporte pas en soi d'éléments intéressants la description de la vie mentale. Une lecture fonctionnaliste de l'appareil psychique, l'assimilant à un système modulaire de traitement de l'information peut être poussée assez loin. Le système perception/conscience fournit des représentations qui sont traitées par le moi pour les opérations de pensée et de langage. Le refoulement nécessite alors l'identification des représentations contenues dans l'inconscient par un

comparateur qui vérifie leur compatibilité avec les exigences du surmoi. Sur le plan symbolique, il suffit d'imaginer que toutes les représentations soient des symboles possédant des index qui sont lus par le comparateur. Avec ce système d'indexation, il n'est pas nécessaire que le surmoi contienne l'ensemble des représentations pour pouvoir les comparer avec les représentations candidates à la pénétration dans le moi. Il suffit qu'il soit capable de détecter un nombre restreint d'index ayant trait à la sexualité et aux positions œdipiennes. Cependant, l'application stricte d'un tel modèle à la vie psychique décrit par la psychanalyse laisserait pour compte l'aspect dynamique et énergétique de la mémoire. Il est en effet difficilement concevable que dans un système fonctionnaliste, des informations en mémoire soient douées d'une tendance à l'expression, car par définition les informations mises en mémoire ne peuvent être que des données passives séparées des opérations de traitement. Si le fonctionnalisme peut effectivement se rapprocher de façon sensible de la psychanalyse sur le thème des systèmes topiques, il s'en sépare néanmoins sur cet aspect dynamique. Les métaphores de traitement symbolique peuvent être sans dommage utilisées pour décrire la partie organisée de l'appareil psychique, (conscient et préconscient), mais sont-elles applicables à la partie dite inorganisée de l'appareil psychique, à savoir l'inconscient ?

### *Théories sexuelles et cognition*

Essayons d'aborder cette question à partir du texte majeur de Freud en ce qui concerne le problème de la connaissance, celui sur les théories sexuelles infantiles [21]. Une lecture cognitive de ce texte montre sans difficultés que l'argumentation de Freud est bâtie sur une logique inférentielle symbolique, de la même façon que les fausses théories sexuelles des enfants sont élaborées à partir de raisonnements cognitifs de type :

Si  $\implies$  Alors.

Le but final de la procédure cognitive de l'enfant est de répondre à la question ; d'où viennent les enfants ? Selon le principe général de l'économie cognitive, le chemin le plus court consiste à obtenir la

donnée manquante là où elle se trouve, et donc chez les parents, identifiés comme sources du savoir. Freud spécifie trois types de réponses parentales possibles ; la réponse évasive, la réprimande du désir de savoir, la réponse mythologique. Freud développe le cas où c'est la réponse mythologique qui est proposée. Or l'enfant ne se satisfait pas de cette réponse qu'il met en compétition avec son savoir tiré de sa *propre expérience*, celle de l'observation des animaux. Cette comparaison insinue alors le *doute* dans l'esprit de l'enfant. Ce doute va se transformer en une suspicion du caché. Il va alors poursuivre en secret ses investigations générant un clivage psychique entre une opinion consciente, en phase avec la duperie parentale, et une opinion inconsciente, celle des théories sexuelles construites de façon secrète par l'enfant pour donner sens à ses expériences. Ces théories sont toutes élaborées pour expliquer comment un enfant peut rentrer dans le ventre de sa mère, et en sortir. Il est alors amené à décliner l'ensemble des possibilités compte-tenu de sa connaissance intuitive des orifices du corps de la femme. Mais comme il est dans le même temps dans l'ignorance de l'anatomie réelle, et qu'il est sous l'emprise de la négation de la différence des sexes, ses théories sexuelles vont osciller et parfois coexister entre des contenus différents ; tous les hommes et femmes possèdent un pénis ; l'homme dépose l'enfant dans le cloaque de la femme ; l'homme pénètre l'intérieur du corps de la femme, avec toutes les variantes sadiques sur ce thème ; la fécondation est orale, se fait par par la salive, par les mots, par l'oreille, par le regard, etc... Ce qui est remarquable dans l'argumentation de Freud, ce n'est pas tant que les enfants sont sensés être capables de donner sens à leurs propres observations par un processus d'autoapprentissage. Mais le fait que Freud dise en substance que le clivage psychique, aboutit à l'existence de *deux séries cognitives, l'une consciente et l'autre inconsciente*. Il y a donc dans le texte sur les théories sexuelles infantiles, la notion d'un *refoulement cognitif*, secondaire au refoulement du sexuel chez les parents, et aboutissant à ce que des processus actifs de connaissance se trouvent maintenant refoulés dans l'inconscient de l'enfant. Ces processus utilisent toutes les ressources de la cognition comme le montre l'intelligence des théories sexuelles exploitant à la manière d'une combinatoire logique l'en-

semble des données connues par l'enfant - à l'exception notable de celle qui a trait à la différence des sexes, et donc à la castration. On peut discuter de la réalité du manque de cette dernière donne et montrer que la disponibilité par l'enfant de l'information exacte ne change rien au problème du refoulement. L'enfant est poussé vers la voie des théories sexuelles indépendamment du savoir réaliste sur la procréation que peuvent fournir les parents ou les éducateurs. Cette poussée est liée à la fonction structurelle du doute. Il y a toujours mensonge parental quels que soient son contenu et son importance réelle. Pour l'enfant, le mensonge parental, ou de façon plus générale de l'adulte, même le plus bénin, est signe de l'existence d'une duperie possible et de la nécessité de garder secrètes ses propres investigations.

Le fondement de la recherche de la connaissance, ou en d'autres termes, le déploiement génératif de la cognition, peut ainsi être pensé en regard de cette fonction du doute, que l'on peut sans dommage ranger dans le cadre général de ce que Laplanche a appelé la séduction originaire par les signifiants énigmatiques. L'enfant rencontre des énoncés, des scènes dont il ne peut comprendre le sens et dont il ne peut se satisfaire des explications fournies à leur sujet. On comprend aussi pourquoi les grandes structures psychopathologiques peuvent être décrites non pas en termes de contenu des symptômes mais en termes de questions, celle de la mort pour l'obsessionnel, de la différence des sexes et de la jouissance pour l'hystérique. Or, cette fonction de l'énigme, inhérente aux relations interhumaines est *de facto* absente de l'intelligence artificielle. Imaginons par exemple le cas d'un système-expert sensé effectuer le même travail cognitif que l'enfant placé devant l'énigme de la fécondation. Il aurait pour but de déduire l'origine des enfants et possède dans sa base de connaissance les données observables concernant la grossesse. Pour atteindre son but, il interroge l'utilisateur en posant des questions et reçoit en retour les données de faits que sont les réponses parentales. Pour qu'un système-expert puisse douter de ces faits, il faudrait qu'il puisse les comparer à des données déjà connues sur le même sujet et qui seraient indexées d'un poids de vérité supérieure. Mais s'il possède déjà des données sur ce thème, il n'a pas besoin d'aller s'enquérir de données à l'extérieur et n'est donc pas poussé par le besoin

de savoir, à moins qu'on lui ait justement assigné cette tâche de l'extérieur. Le doute sur le savoir de l'autre, et par conséquent sur son propre savoir, ne peut exister dans un système-expert construit uniquement sur la base de règles symboliques. Ainsi par sa systématisation formelle, le paradigme fonctionnaliste construit une pensée artificielle, implémentable sur des processeurs et dont l'opérationnalité technologique n'est plus à démontrer. Mais sur le plan de sa projection à la compréhension du psychisme humain, il schématise un mode de fonctionnement qui s'apparente plus à la pensée paranoïaque. Il est ainsi significatif que les premières applications en psychopathologie des systèmes-experts ont porté sur la simulation de la pensée paranoïaque<sup>9</sup>, opérant des scissions modulaires, et capable de pouvoir théoriser, c'est-à-dire formaliser les éléments du monde perçu, mais incapable de faire face au flou et à l'incertain, à l'irrationnel et à l'inconnu.

#### *Le frayage neuronal*

Les perspectives d'articulation entre psychanalyse et sciences cognitives sont par contre très différentes avec le modèle connexionniste. Selon celui-ci, l'information est mise en mémoire dans l'ensemble d'un réseau qui assure en même temps le traitement et la conservation des informations. Ce qui distingue l'information active de l'information simplement codée est son état d'activation énergétique. Les modèles connexionnistes présentent ainsi des analogies remarquables avec nombre de propositions de la psychanalyse freudienne. La proximité des thèmes de *l'Esquisse d'une psychologie scientifique* avec les modèles neuromimétiques actuels a déjà été maintes fois soulignée en particulier en 1976 par Pribam et Gill [42].

Les notions de barrière de contact et celle de frayage, ont anticipé le concept ultérieur de synapse et se trouvent à la base des notions de franchissement de seuils et de propagation au sein du réseau. Cette res-

9. Cf. Le système Parry, décrit par Bertoni et Trognon dans « L'intelligence de la paranoïa dans l'interview psychiatrique de diagnostic », *Psychisme et intelligence artificielle*, sous la direction d'André Cuvellier, Presses Universitaires de Nancy, 1992.

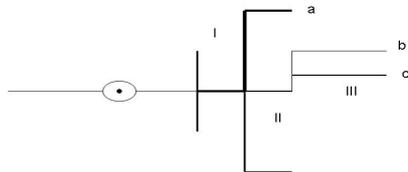


FIGURE 14 – Frayage et barrière de contact dans l'esquisse, Freud, 1895

semblance a été également relevée par Hochmann et Jeannerod [28] ainsi que par Alain Trognon [55] au sujet de l'affect, absent significatif du modèle symbolique du fonctionnalisme. L'affect retrouve une certaine existence, au moins métaphorique, dans les modèles connexionnistes sous la forme du gradient énergétique présent dans les réseaux neuronaux :

...les appareils cognitifs du cognitivisme classique n'ont évidemment pas d'affects, ce paradigme sépare en effet radicalement le cognitif et l'affectif. Il n'en va plus de même avec le paradigme connexionniste. Le poids synaptique est en effet au réseau de neurones formels ce que la pulsion (?) ou l'affect (?) est à l'appareil psychique freudien. Le représentationnel et l'affectif ne s'opposent plus puisque le représentationnel émerge de l'affectif et puisque dans le paradigme connexionniste nous pensons au travers de l'affect. Bref, si le connexionnisme est si séduisant, c'est également parce qu'il réconcilie les psychologues et réintègre la psychanalyse dans une démarche scientifique. »[55, p.84].

### *Affects et cognition*

La question des rapports entre l'affect et la représentation peut être renouvelée à partir de la modélisation de l'espace représentatif comme un espace sémantique structuré par réseau. Chaque nœud du réseau est occupé par une représentation. L'angoisse peut alors diffuser dans le réseau ramifiant à la

façon d'un marqueur et se localiser sur tel ou tel nœud en suivant les lignes de l'arborescence en remontant (on rend ainsi compte du déplacement de l'affect sur des signifiants liés par une métonymie) (Cf la théorie des marqueurs chez Sabah [46]). Le connexionnisme dessine alors un espace théorique à l'intérieur duquel peut être pensée la question de l'investissement économique des représentations et les phénomènes de condensation et de déplacement. Il existe une ressemblance étonnante entre d'une part les lois de convergence vers un attracteur et les lois de la condensation symbolique et d'autre part entre les bifurcations d'attracteurs et la notion de déplacement. Même s'il ne s'agit ici que d'analogies partielles ne pouvant prétendre à des jugements d'identité, il n'en reste pas moins que l'introduction d'une dimension thermodynamique dans les réseaux neuronaux vient faire jouer le rapprochement avec la métapsychologie freudienne. Le gradient énergétique des réseaux neuronaux correspond à la dimension économique, la syntaxe d'attracteurs à la dimension dynamique, et enfin les phénomènes de bassins d'attractions et de paysage épigénétique à la dimension topique, soit les trois dimensions de la métapsychologie freudienne. Dès lors, il est possible d'imaginer que le refoulement correspond à un changement d'état d'un attracteur, ce qui permet d'éviter d'avoir recours à une double inscription d'une représentation. Le concept d'*attracteur* est d'ailleurs proche de la vision intuitive de Freud, lorsqu'il essayait de comprendre la structure dynamique de l'émergence des souvenirs dans la libre association,

« J'ai indiqué que le groupement de ces sortes de souvenirs en une pluralité d'assises, de strates linéaires se présentait comme un dossier d'actes, un paquet, etc., et caractérisait la formation d'un thème. Ces thèmes sont autrement groupés encore, ce que je ne saurais décrire qu'en disant qu'ils sont concentriquement disposés autour du noyau pathogène. »[16, Freud, 1893, p.234].

Dans un réseau neuromimétique, les représentations, en tant qu'activités d'un attracteur ne sont présentes qu'une fois sous une forme non locale, mais dispersée topologiquement dans l'hyperplan du réseau. Mais cette représentation peut exister sous des états d'activation énergétique différentes. Ce qui ne signifie pas que la conscience corresponde à un état d'activation de haut niveau énergétique et l'inconscient à un faible

niveau, ce qui reviendrait à revenir aux théories psychasthéniques de Janet. On peut cependant imaginer que la distinction conscient/inconscient corresponde à des dynamiques différentes. L'interaction entre les deux dynamiques aboutissant à des phénomènes de conflit ou de bifurcations d'attracteurs qui seraient sous-jacents aux phénomènes du refoulement. Le problème est que les modèles connexionnistes appliqués à la question de la conscience montrent que les dynamiques rapides correspondent à des processus subliminaux [47] et les dynamiques lentes à des phénomènes conscients accessibles à l'introspection (d'après Visetti [57, p.193]). Il faudrait donc postuler une troisième dynamique pour rendre compte des phénomènes de refoulement au sens de l'inconscient freudien. Dès lors le gain à l'usage du connexionnisme en psychanalyse paraît mince puisqu'on est obligé de rajouter une autre dimension non prévue initialement pour rendre compte de l'inconscient. Le gain est cependant non négligeable car le connexionnisme propose une autre façon de se représenter l'interface entre le psychisme et le substrat biologique. L'activité psychique peut être comparée aux modifications des dynamiques et des topologies des attracteurs dans les espaces à  $n$  dimensions des réseaux neuronaux. Reste à comprendre comment peut émerger une réalité psychique sur la réalité physique décrite par des réseaux de neurones.

### *Éros et pulsion de mort*

C'est justement le grand apport du paradigme de l'auto-organisation de nous aider à comprendre comment cette émergence peut être rendue possible au travers des interactions d'agents autonomes. C'est ainsi une biologie théorique rénovée et présentant un fort intérêt pour la psychanalyse que nous proposons les théories de l'autoémergence. Le biologique n'est plus un substrat d'opérations homéostatiques préprogrammées mais devient un véritable espace cognitif. On remarquera surtout que l'autoémergence des structures dans le modèle autopoïétique résulte d'un perpétuel conflit entre des actants doués de propriétés primitives et des dynamiques structurelles. Il y a là, dans cette conception de la génération de structures biologiques par autoémergence, un rapprochement très fort avec la deuxième théorie des pulsions

de Freud et du conflit entre Eros, force de liaison poussant à l'organisation, et la pulsion de mort, force de déliaison ramenant à l'inorganisé. Si on pousse l'analogie à bout, Eros serait la résultante des dynamiques structurelles autoémergentes et la pulsion de mort serait l'expression individualisante des entités douées des propriétés primitives. On retrouve ici la référence freudienne aux unicellulaires dans le *moi et le ça* et aux travaux de Weismann sur le plasma germinal [24, p105] dont les travaux suscitent aujourd'hui à nouveau curieusement l'intérêt des chercheurs en sciences cognitives [37, p228].

### *Traces psychiques et autopoïèse*

Les modèles de l'émergence proposent surtout une nouvelle approche de la mémoire qui ne peut qu'intéresser profondément la psychanalyse puisqu'elle renoue avec la notion de *traces*. Un système autopoïétique conserve en effet la trace de ces interactions passées avec les *formes* de la réalité externe dans les cinétiques et dynamiques des trajectoires de ses acteurs. Les informations ne sont plus localisées dans tel ou tel sous-système d'enregistrement comme dans le modèle fonctionnaliste ou dans les différents états énergétiques potentiels des attracteurs existant au sein d'un réseau neuromimétique, mais sont présentes dans les capacités de déformation du système et donc dans sa dynamique structurelle. En fin de compte, les modèles de l'émergence offrent un autre espace de pensée en permettant la construction de modèles génétiques des processus vitaux. L'articulation des complexités, pour reprendre le terme de Bourguignon, entre psychique et biologique manque cruellement d'outils conceptuels pour réaliser une passerelle crédible [5]. L'apport de la réflexion autour de la différence entre complication et complexité a apporté une première piste et la seconde, majeure, vient de la renaissance de ce courant holistique en biologie théorique, centré autour des théories de l'autoémergence. À contre-courant du réductionnisme biologique et de sa fuite en avant dans la description des phénomènes de plus en plus complexes et dont l'intelligibilité n'est plus que strictement locale, le courant holistique cherche une compréhension globale des phénomènes biologiques et privilégie *le sens* sur la précision de la description.

En ce « sens », ils retrouvent la liberté de conjectures et de spéculations qui marquait la psychanalyse originaire et permettent d'aller plus avant dans la connaissance de l'interface entre le psychique et le biologique.

## Conclusions

L'écart entre les sciences cognitives et la psychanalyse reste considérable, tant par les objectifs que par leurs environnements épistémiques qui diffèrent profondément. Cependant, si l'on fait abstraction de ces écarts et que l'on se penche sur les proximités, on ne peut que remarquer la faible distance qui sépare les problématiques internes des sciences cognitives centrées autour des questions de représentation, de mémoire, d'inscription, des questions ouvertes par la métapsychologie freudienne. Ainsi, plutôt que de dénier aux sciences cognitives toute prétention à rendre compte de la vie psychique, il est à notre sens plus efficace de regarder en face la réalité productive de leurs modèles et à s'interroger sur leur utilisation potentielle pour un renouveau conceptuel de la psychanalyse. On se heurte alors aux préjugés tenaces tenus à l'encontre de l'usage par les sciences cognitives des modélisations informatiques et donc de leur côté artificiel et déshumanisant. Pourtant elles ont incontestablement ouvert un nouvel espace d'autoréflexion sur le fait humain. Ne serait-ce que par défaut, c'est-à-dire par ce que les ordinateurs ne peuvent faire et qui dès lors révèle ce qui est spécifiquement humain. Mais aussi de façon positive, dans la mesure où si un modèle informatique parvient à reproduire quasi-parfaitement une fonction humaine, alors il est légitime de penser que ce modèle possède une caractéristique commune avec cette fonction. Ce raisonnement poussé à bout peut certes aboutir à des conclusions erronées. Cependant il y a bien des traits communs entre une pompe mécanique et le cœur, entre un appareil optique et la rétine, entre des transducteurs électroacoustiques et l'audition (etc.), il nous faut donc peut-être accepter qu'il existe pareillement des traits communs entre les systèmes de raisonnement artificiel et la cognition humaine. Une des tâches d'une épistémologie des sciences cognitives serait alors de chercher les conditions de vraisemblance de ces analogies, compte tenu des échelles de

complexité des différents systèmes. On évoque souvent la perte d'humanité et l'emprise totalitaire d'une pensée mécanisée naissant du développement de l'informatique et des sciences cognitives. Il serait dommage de ne pas comprendre que ce développement ouvre aussi d'autres horizons. Le gain de civilisation que procure la révolution informatique se paye incontestablement d'un renoncement pulsionnel. Il est possible que celui-ci concerne d'abord l'image que l'homme se fait de l'originalité de sa pensée. Les débats autour de l'intelligence artificielle, axe majeur des sciences cognitives, ne sont peut-être que les signes avant-coureurs d'une nouvelle blessure narcissique infligée à l'humanité. Après la relativisation de la place de la terre dans le cosmos, de son statut dans l'échelle biologique, du décentrement de sa conscience vis-à-vis de l'inconscient, l'homme est peut-être au seuil de comprendre que la nature cognitive de sa pensée peut être avantageusement remplacée par celle des machines. Mais on peut aussi renverser diamétralement l'argument, ainsi que le propose Hochmann [29] ; l'impuissance des ordinateurs les plus puissants à rivaliser avec les performances humaines sur le plan de la créativité, ne vient en fin de compte que flatter le narcissisme de l'homme, ce qui expliquerait, sur un plan psychanalytique, la voie prise par le développement de la civilisation dans cette direction. L'épopée des systèmes-experts semble lui donner raison. Présentés à leurs débuts comme pouvant remplacer l'homme dans l'accomplissement de tâches de haut-niveau, on s'est rendu vite compte que le meilleur des systèmes-experts ne pourra jamais que reproduire de manière imparfaite les compétences humaines. Les modélisations informatiques renverraient ainsi à l'homme l'image de sa propre rationalité, mais ne pourraient en aucune mesure renouveler vraiment les fondements de sa propre autoconnaissance, puisque ces modélisations ne sont que le fruit de sa propre activité de connaissance. Si cette clôture interne, cette self-référence, est sans aucun doute une des limites des modèles symboliques et connexionnistes, il est seulement *possible* qu'il en sera de même pour les systèmes utilisant des techniques plus avancées de l'intelligence artificielle. Les modèles découlant des systèmes multi-agents comme sur un autre plan la modélisation des routes vers le chaos montrent que les méthodes de simulation per-

mettent d'entrevoir une autre réalité, un autre imaginaire, non prévus, ni contenus dans les données initiales. La réalité de la révolution cognitive nous invite à considérer que si les progrès de la cybernétique se font au détriment des racines de l'homme, on peut aussi considérer qu'ils l'élèvent et laissent libres des investissements énergétiques pour d'autres buts. Nous ne pouvons ainsi laisser de côté, parce que prétendument insignifiant, le plaisir pris par les utilisateurs de l'informatique, après celui des concepteurs, à faire fonctionner des programmes qui automatisent des tâches fastidieuses ou impossible à réaliser autrement. Ce plaisir, que l'on retrouve devant tout robot ou machine sensé « libérer l'homme », est éprouvé avec une intensité d'autant plus forte que ce qui est automatisé est plus proche des activités les plus élaborées de la pensée. Peut-être faudra-t-il en fin de compte, retourner au plaisir à l'économie de la dépense énergétique, que Freud a décrit dans le *Mot d'esprit* pour comprendre l'extraordinaire mutation de la pensée qu'opère aujourd'hui le développement des sciences cognitives ?

## Références

- [1] Amit D.J., *Modeling Brain Function - The World of Attractor Neural Networks*, Cambridge, Cambridge University Press, 1989.
- [2] Andler D., *Introduction aux sciences cognitives*, sous la direction de Daniel Andler, Paris, Folio Essais, 1992.
- [3] Atlan H., « Organisation du vivant et ses représentations », in *Entre le cristal et la fumée*, Paris, Seuil, 1979.
- [4] Baddeley A., *La mémoire humaine, théorie et pratique*, Edition française, Presse Universitaire de Grenoble, 1993.
- [5] Bourguignon A., « Articulation de la complexité du système nerveux central et de la complexité de l'organisation psychique », *Les théories de la complexité*, Paris, Seuil, 1991.
- [6] Brachman R., Schmolz J., An Overview of the KL-ONE Knowledge Representation System, *Cognitive Science*, 9, 1984, pp.171-216.
- [7] Crosson B., « Sub-Cortical Functions in Language : a Working Model », *Brain and Language*, 25, 1985, pp. 257-292.
- [8] Deleuze G., « *Foucault* », Paris, Seuil, 1990.
- [9] Drescher G., *Made-up Minds, a Constructivist Approach to Artificial Intelligence.*, MIT Press, 1991.
- [10] Edelman G.M, Gall E.W., Cowan W.M., *Signal ans Sense, Local and Global Order in Perceptual Maps*, A Neuroscience Institute Publication, Wiley-Liss, 1990.
- [11] Edelman G., *Biologie de la conscience*, Paris, Editions Odile Jacob, 1992.
- [12] Eccles J.C., *Evolution du cerveau et création de la conscience*, 1989, Paris, Editions Fayard, 1992.
- [13] Flavigny C., « Psychodynamique de l'instabilité infantile », *Psychiatrie de l'enfant*, XXXI, 2, 1988, pp. 445-473.
- [14] Fodor J.A., *La modularité de l'esprit*, 1983, Paris, Les éditions de Minuit, 1986.
- [15] Freud S., *Contribution à la conception des aphasies*, 1891, Paris, Puf, 1983.
- [16] Freud S., Breuer J., *Etudes sur l'hystérie*, 1893, Paris, Puf, 1956.
- [17] Freud S., « Esquisse d'une psychologie scientifique » 1895, in *La naissance de la psychanalyse*, Paris, Puf, 1979.
- [18] Freud S., « Lettre 52 » in *La naissance de la psychanalyse*, Paris, Puf, 1979.
- [19] Freud S., *L'interprétation des rêves*, 1900, Paris, Puf, 1967.
- [20] Freud S., *Le mot d'esprit et ses rapports avec l'inconscient*, 1905, Paris, Gallimard, 1930.
- [21] Freud S., « Les théories sexuelles infantiles », 1908 in *La vie sexuelle*, Paris, Puf, 1969
- [22] Freud S., « Le trouble psychogène de la vision dans la conception psychanalytique », 1910, in *Névrose, psychose, et perversion*, Paris, Puf, 1978.
- [23] Freud S., « Sur les transpositions de pulsions plus particulièrement dans l'érotisme anal », 1917, in *La Vie Sexuelle*, Paris, Puf, 1969.
- [24] Freud S., « Au-delà du principe de plaisir », 1920, édition française dans *Essais de Psychanalyse*, Paris, Payot, nouvelle traduction, 1981.
- [25] Freud S., « Le moi et le ça », 1923, *Essais de Psychanalyse*, Paris, Payot, 1981.
- [26] Gerard C., « Dysphasies de développement : aspects cliniques », *Approche Neuropsychologique de l'Enfant*, Société de Neuropsychologie de Langue Française, Kremin et Leclercq éditeurs, 1992.
- [27] Hebb D., *The Organisation of Behavior*, New-York, Wiley, 1949.

- [28] Hochmann J., Jeannerod M., *Esprit, où es-tu ? psychanalyse et neuroscience*, Paris, Odile Jacob, 1991.
- [29] Hochmann J., « Modèles de la maladie et modèles du handicap en médecine mentale, *Psychiatrie de l'enfant*, XXXV, 2, 1992, pp. 555-574.
- [30] Hoffman R.E., « Computer simulation of neural information processing and the schizophrenia-mania dichotomy », *Archives of General Psychiatry*, 44, p.178, 1987.
- [31] Jodouin J.F., « Présentation des modèles connexionnistes », *Intellectica*, 9/10, 1990.
- [32] Jouvét M., « Programmation génétique itérative et sommeil paradoxal », *Confrontations psychiatriques*, 27, 1986.
- [33] Kaufman A.S., Kaufman, N.L., *Kaufmann Assessment Battery for Children*, American Guidance Service, Circle Pines, Minnesota 55014, 1983.
- [34] Langton G.C., *Artificial Life*, edited by Christopher G. Langton, a proceedings volume in the Santa Fe Institute Studies In The Sciences Of Complexity, 1992.
- [35] LeMoigne J.L., *La modélisation dans les systèmes complexes*, Paris, Dunod, 1990.
- [36] Lecocq P., « Conscience phonologique, mémoire de travail et acquisition de la lecture », *Actes scientifiques du congrès international d'orthophonie*, Nice, Ortho édition, 1988.
- [37] Lenay C., « Caractères adaptatifs et représentations symboliques », *Intellectica*, 16, 1993/1, 1993.
- [38] Maturana H., Varela F., *Autopoiesis and Cognition; the Realisation of the Living*, Boston Studies in the Philosophy of Science, t.XLII, Boston, D.Reidel, 1980.
- [39] Memmi D., « Connexionnisme, intelligence artificielle, et modélisation cognitive », *Intellectica*, 9/10, 1990.
- [40] Meunier B., « La physique des réseaux neuronaux », *Intellectica*, 9/10, 1990.
- [41] Minsky M., Papert S., *Perceptrons*, Cambridge, Mass, MIT, Press, 1969.
- [42] Pribram K.H. et Gill M.M., « *Le projet de psychologie scientifique* » de Freud : un nouveau regard, 1976, Paris, Puf, 1986.
- [43] Rapin I., Allen D.A., « Syndromes in Developmental Dysphasia and Adult Aphasia », in Plum F. (ed), *Language, Communication and the Brain*, New York, Raven Press, 1988, pp. 57-75.
- [44] Rastier F., *Sémantique et recherches cognitives*, Paris, Puf, 1991.
- [45] Rosenblatt F., *Principes of Neurodynamics*, New York, Spartan Books, 1962.
- [46] Sabah G., *L'Intelligence Artificielle et le langage*, Paris, Hermes, 1988.
- [47] Shevrin H., William J.W., « Event-Related Potential Indicators of the Dynamic Unconscious. », *Consciousness and Cognition*, 1, 1992, pp. 340-366.
- [48] Shallice T., *From Neuropsychology to Mental Structure*, Cambridge University Press, 1988.
- [49] Schank R., « Reminding and Memory Organisation : an Introduction to MOPs », in *Strategies for Natural Language Processing*, Lehnert & Ringke, Lawrence Erlbaum, Hillsdale, 1982.
- [50] Seron, X., « L'intérêt de l'approche cognitive en thérapie », *Actes scientifiques du congrès international d'orthophonie*, Nice, Ortho édition. 1987.
- [51] Smolensky P., « Representation in Connectionist Networks », *Intellectica*, 9/10, 1990.
- [52] Sowa J.F., *Conceptual Structures*, Addison Wesley, 1984.
- [53] Stewart J., « Au-delà de l'inné et de l'acquis », *Intellectica*, 16, 1993.
- [54] Trognon A., « Psychanalyse et neurosciences : sur l'autonomie du fonctionnement mental », *Horizon Social*, 1/4, 1991.
- [55] Trognon A., « Cognitivism et pragmatisme dans la modélisation des fonctions socio-cognitives », *Psychisme et intelligence artificielle* sous la direction de André Cuvellier, Presses Universitaires de Nancy, 1992.
- [56] Varela F., *Autonomie et connaissance : essai sur le vivant*, Paris, Seuil, 1989.
- [57] Visetti Y.M., « Modèles connexionnistes et représentations structurées », *Intellectica*, 9-10, pp.167 à 212, 1990.
- [58] Virole B., Siboni J. « Neuropsychologie et Intelligence artificielle », *ANAE Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*, 4, Vol 2, 1990, pp.171-176.

Pour citer ce texte :

Pour une ébauche :

Virole B.,(1995), *Sciences cognitives et psychanalyse*, PUN, 1995.

<https://virole.pagesperso-orange.fr/SciCog.pdf> pour une forme achevée (2021).