

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI

**MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ LAVAL
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN LINGUISTIQUE
OFFERTE À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI
EN VERTU D'UN PROTOCOLE D'ENTENTE
AVEC L'UNIVERSITÉ LAVAL**

**PAR
PIERRE FRASER**

**PISTES D'EXPLORATION POUR L'ÉLABORATION
D'UN SYSTÈME FORMEL DE MONTÉE EN ABSTRACTION
ET D'ÉMERGENCE DE CATÉGORISATIONS LINGUISTIQUES**

MARS 2001



Mise en garde/Advice

Afin de rendre accessible au plus grand nombre le résultat des travaux de recherche menés par ses étudiants gradués et dans l'esprit des règles qui régissent le dépôt et la diffusion des mémoires et thèses produits dans cette Institution, **l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** est fière de rendre accessible une version complète et gratuite de cette œuvre.

Motivated by a desire to make the results of its graduate students' research accessible to all, and in accordance with the rules governing the acceptance and diffusion of dissertations and theses in this Institution, the **Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** is proud to make a complete version of this work available at no cost to the reader.

L'auteur conserve néanmoins la propriété du droit d'auteur qui protège ce mémoire ou cette thèse. Ni le mémoire ou la thèse ni des extraits substantiels de ceux-ci ne peuvent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

The author retains ownership of the copyright of this dissertation or thesis. Neither the dissertation or thesis, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

Ce mémoire a été réalisé
à l'Université du Québec à Chicoutimi
dans le cadre du programme
de maîtrise en linguistique de l'Université Laval
extensionné à l'Université du Québec à Chicoutimi.

Résumé

La présente étude s'inscrit dans les champs de recherche sur l'ingénierie linguistique. Cette discipline, rattachée aux sciences cognitives, a pour objectif de fournir des modèles pour la conception et la réalisation de systèmes informatiques aptes à effectuer un traitement des données linguistiques. Cette discipline renvoie à des applications très diverses portant sur des problèmes reliés aux domaines suivants : la construction de représentations sémantiques, le résumé automatique de textes, l'acquisition et la modélisation de connaissances à partir de textes, la traduction automatique, le *data mining* et le *text mining*, etc.

Ce mémoire aborde surtout la dimension de la formalisation d'un système d'acquisition de connaissances illustrant une montée en abstraction, tant sur le plan neuronal que sur le plan énonciatif. Le lecteur doit comprendre que les objectifs de ce mémoire sont exploratoires et que nos intentions immédiates ne visent qu'à poser les jalons pour une recherche ultérieure de niveau doctoral . Un modèle est proposé , d'abord sous forme de graphe ensembliste fermé et ensuite ouvert par l'ajout de règles de connectivité, pour développer une démarche moins statique. Ce modèle est posé à cette étape ci comme prometteur et en accord avec l'hypothèse générale d'émergence dynamique que représente un processus de montée en abstraction.

Remerciements

Nous tenons tout particulièrement à remercier notre directeur de mémoire, monsieur Khadiyatoulah Fall, de l'Université du Québec à Chicoutimi, qui a su, au cours des trois dernières années, nous prodiguer de justes conseils pratiques au cours de ses séminaires. Ses prestations pédagogiques nous ont permis de mieux saisir la portée de la théorie des opérations énonciatives qui nous inspire dans ce mémoire.

Également, un remerciement tout spécial va à notre co-directeur, monsieur Georges Vignaux , linguiste et cogniticien du Laboratoire Communication et Politique du CNRS de France. Nous lui sommes reconnaissants de nous avoir démontré le bien fondé et la pertinence des sciences cognitives dans le contexte que présente aujourd'hui l'ingénierie linguistique.

Sans ces deux conseillers, il nous aurait été impossible de mener à terme ce travail. Nous leur devons de nous avoir donné une solide méthodologie scientifique pour aborder les nouveaux problèmes que pose la linguistique computationnelle.

Avant-propos

PARTIE I: État de la question

Le chapitre I traite essentiellement de la nature du symbole où le rapport pensée-langage est considéré et vu en tant que processus logique opératoire fondé sur la manipulation de symboles. L'ensemble du chapitre est un parcours de théories allant des recherches d'Émile Bénétiste aux conceptions de Ferdinand de Saussure, en passant par la grammaire générative de Chomsky et les principales idées de la logique symbolique au travers des travaux de Frege, Carnap, Whitehead et Russell et finalement, ceux du mathématicien Turing.

Le chapitre II nous présente les différents courants dominants des sciences cognitives, à savoir: le cognitivisme, le connexionisme et le constructivisme. L'idée sous-jacente au cognitivisme est que l'esprit est un automate. L'idée de base du connexionisme est que l'intelligence émerge de l'interaction entre plusieurs processus simples. Le constructivisme quant à lui, consiste à soutenir que notre connaissance ne reflète pas une réalité ontologique du monde, qui serait objective et qu'on pourrait atteindre ou non , mais plutôt que cette connaissance se fonde sur la mise en ordre et l'organisation d'un monde qui est constitué par nos expériences individuelles et nos savoirs collectifs¹.

PARTIE II: Problématique

Le chapitre III reprend certaines pistes présentées aux chapitres I et II, notamment celles portant sur l'évolution et la plasticité du cerveau. Nous passons donc en revue et très

brièvement, les travaux des neurobiologistes tel B. Millner² sur la spécialisation des hémisphères du cerveau, et ceux de Gerald Edelman³ portant sur la sélection de cartes neuronales. Les travaux de ces deux chercheurs tentent de démontrer qu'aucun langage n'est nécessaire pour l'émergence de concepts et que les substrats de cognition résident dans le parallélisme des systèmes modulaires de traitement de l'information du cerveau, rejoignant ainsi certains propos de I. Rosenfield⁴.

Le chapitre IV se consacre à l'analyse des processus opératoires. Le cerveau y est considéré comme système ouvert, c'est-à-dire capable, à partir de conditions différentes, de parvenir à des résultats similaires dans des situations différentes. Les processus opératoires que nous en dégagerons, se différencient selon trois types de modalités: apparition (quantification universelle), développement (quantification existentielle) et stabilisation (quantification singulière). Un processus opératoire peut alors être défini comme une montée en abstraction depuis l'universel jusqu'au singulier, effectuée à chaque palier par des opérations de sélection et de renforcement de liens entre différents schémas d'activités de même nature. La perspective peut devenir intéressante puisqu' avec un modèle de montée en abstraction par compression algorithmique (effectuée par sélections et renforcements de liens), la résultante n'est qu'une représentation: elle délimite des frontières et donc autorise la création de catégories et de domaines notionnels. Le résultat est une

¹ VIGNAUX G., *Le discours acteur du monde*, Paris, Ophrys, 1988.

² MILLNER B., *Hemispheric Specialisation*, in F.O. Schmitt and F.G. Worden, *The Neurosciences*, MIT Press, 1974.

³ EDELMAN G., *Neural Darwinism: The Theory of Neuronal Group Selection*, New York, Basic Books, 1987.

⁴ ROSENFIELD I., *L'invention de la mémoire*, coll. Champs, Paris, Flammarion, 1994.

fonction de structuration $\underline{_}(x, y)$ qui permet effectivement la construction de schémas d'activité et par suite de domaines.

Partie III: Pistes d'exploration pour un système formel

Le chapitre V revient aux questions de contexte et d'émergence de l'énonciation et permet d'établir un pont entre le processus opératoire défini par $\underline{_}(x, y)$ et la théorie des opérations énonciatives d'Antoine Culoli , laquelle vise effectivement à rendre compte non pas d'états achevés, mais des conditions et des modes d'engendrement de ces états. Nous verrons alors que les trois étapes d'un processus opératoire menant à une montée en abstraction démontrent comment des opérations énonciatives vont contribuer à disposer des spécifications significatives en vue de classifications par domaines et de catégorisations cognitives du monde.

Le chapitre VI vise à explorer les modalités d'application et d'émergence de la fonction $\underline{_}(x,y)$. Pour ce faire, nous nous inspirons des modèles des graphes orientés sur système fermé, ce qui pourrait sembler surprenant et a contrario puisque tout au long du travail, tant au niveau neuronal que celui de l'énonciation, nous traitons de systèmes ouverts. Il s'agit donc ici, de transformer le système fermé en système ouvert en y ajoutant de nouveaux nœuds et de nouveaux vecteurs. Quatre axiomes sont ajoutés au système pour rendre compte de l'émergence d'une fonction dans un système ouvert. A partir de ces axiomes et des observations que nous aurons effectuées, nous dégagerons trois lois, lesquelles décrivent la construction ensembliste d'associations sémantiques.

Le lecteur devra aussi retenir le fait que nous n'avons pas encore de certitude à ce stade-ci de notre recherche qu'il puisse exister une correspondance directe entre processus neuronaux et processus opératoires énonciatifs. Par contre, les éléments que nous apportons tout au long de notre réflexion nous permettent de dégager des pistes de recherche, nous le croyons, intéressantes. En somme, nous tentons une première exploration afin d'obtenir un éventail de données qui nous permettraient dans un futur proche d'explorer beaucoup plus en profondeur les processus de montée en abstraction.

Table des matières

Résumé	iii
Remerciements	iv
Avant-propos	v
Figures	xi
Tableaux	xii
Partie I: État de la question	1
Chapitre I: De la nature du symbole	2
1.1 Introduction	2
1.2 Le symbole	3
1.3 Saussure	8
1.4 La logique symbolique	10
1.5 Machine de Turing	16
1.6 Chomsky et la grammaire générative	17
1.7 Pensée et langage = opérations logiques	20
Chapitre II: Les sciences cognitives	22
2.1 Introduction	22
2.2 Le cognitivisme	29
2.3 Le connexionisme	35
2.4 Le constructivisme	39
Partie II: Problématique	45
Chapitre III: Cartes neuronales et processus opératoires	46
3.1 Introduction	46
3.2 La plasticité du cerveau	47
Chapitre IV: Les processus opératoires	56
4.1 Introduction	56
4.2 Solution de continuité	59
4.3 Le système ouvert	61
4.4 Les processus opératoires	62
4.5 Création de catégories	68
Partie III: Pistes d'exploration	71

Chapitre V: Contexte et émergence de l'énonciation	72
5.1 Introduction	72
5.2 Les catégories	74
5.3 L'émergence du symbole	76
5.4 La théorie des opérations énonciatives	78
5.5 Domaines notionnels et catégories	82
5.6 Le rôle des symboles	92
5.7 Le schéma énonciatif ou lexis	94
Chapitre VI: Application et émergence de $\underline{(x, y)}$	97
6.1 Introduction	97
6.2 Notion de graphe orienté sur un système fermé	98
6.3 Règles de connectivité	101
6.4 Graphe orienté d'un système ouvert	102
6.5 L'émergence d'une fonction dans un système ouvert	105
6.6 Preuve de l'invariance d'échelle	107
6.7 Application d'un graphe orienté à l'énonciation	108
6.8 Prouver l'invariance d'échelle et l'émergence de $\underline{(x, y)}$ en énonciation	115
Conclusion	120
Bibliographie	124

Figures

Figure #1 Système cognitiviste classique	32
Figure #2 Imagerie cérébrale	57
Figure #3 Montée en abstraction	90
Figure #4 Graphe orienté d'un système fermé	98
Figure #5 Graphe orienté d'un système ouvert	103
Figure #6 Graphe orienté sur système ouvert	109
Figure #7 Graphe orienté augmenté sur système ouvert	116

Tableaux

Tableau #1 La nature du symbole	14
Tableau #2 Différents paradigmes des sciences cognitives	27
Tableau #3 Espaces de signification	86
Tableau #4 Sens strict des espaces de signification	87
Tableau #5 Processus opératoires et axiomes	106
Tableau #6 Comparatif neuronal/énonciatif	107
Tableau #7 Application du graphe orienté sur système ouvert	109
Tableau #8 Application du graphe orienté augmenté sur système ouvert	116
Tableau #9 Isomorphie neuronale et énonciative	118

PARTIE I**État de la question**

Chapitre 1

La nature du symbole

1.1 - Introduction

La pensée mécaniste du XVII^e siècle avait pour objectif de comprendre les lois du mouvement et de décrire les phénomènes observables. La célèbre citation de Galilée à l'effet que le monde est une horloge eut pour effet de postuler ceci : on peut comprendre les lois physiques de l'univers si on comprend le fonctionnement d'une horloge. Donc, pour les mécanistes, tout se résume à un mouvement d'horlogerie où tous les engrenages sont bien agencés et ont une fonction précise. Au XIX^e siècle, les travaux de Newton sur les lois physiques de la nature nous ont démontré que, une fois les conditions initiales données, nous pouvons prédire tout événement passé ou futur. Nous sommes alors placés en présence de certitudes : les choses sont déterminées à l'avance. Au cours de ce même siècle, les travaux en thermodynamique ont démontré l'irréversibilité des phénomènes observables dans des systèmes clos : c'est l'entropie. Dû à l'indétermination du mouvement des molécules d'un gaz, on observe, de façon déterministe, le sens de l'évolution d'un système. Cette position a donc entraîné l'affirmation que l'univers n'est pas qu'une machine thermodynamique. Donc, qu'il s'agisse de Newton ou de thermodynamique, tout est déterminé d'avance. Par contre, notre siècle, à l'inverse de la position mécaniste qui situe l'individu comme observateur de l'univers, et du déterminisme qui le perçoit comme acteur soumis à son environnement, campe plutôt l'individu comme acteur de l'univers.

L'individu est opérationnel et responsabilisé. Il use de son libre arbitre pour choisir un cheminement particulier. Il peut s'y maintenir s'il le désire tout en procédant à des adaptations et à des choix personnels. À notre avis, il s'agit là d'un changement de paradigme fondamental où il convient de mettre en évidence la façon dont s'établit la relation du sujet à un environnement donné en constante évolution et en constante adéquation. Par comparaison, les discours religieux sont déterministes : tout est prévu, expliqué et inscrit dans un texte sacré. Le discours de la science moderne est tout autre : rien n'est déterminé à l'avance. Le sujet agit, réagit, s'adapte, construit. C'est donc dans cette perspective que nous aborderons l'analyse du symbole.

1.2 - Le symbole

Nous ouvrirons la discussion avec cet énoncé du linguiste Émile Benvéniste :

«le caractère du langage est de procurer un substitut de l'expérience apte à être transmis sans fin dans le temps et l'espace, ce qui est le propre de notre symbolisme et du fondement de la tradition linguistique»¹.

Ces deux éléments, le symbolique et la tradition, ont contribué à fonder la linguistique moderne depuis Saussure². Et c'est peu dire : plusieurs de nos modèles actuels en intelligence artificielle³ et en linguistique sont encore tributaires de ces notions. Tentons maintenant de comprendre comment le symbole a pu faire à ce point consensus et aussi de voir pourquoi cette position est maintenant remise en question.

¹ BENVÉNISTE, É., *Linguistique générale*, Tome I, coll. Tel, Paris, Gallimard, 1996, p.61.

² Saussure, Ferdinand de, (1857-1913), linguiste genevois considéré comme le père fondateur de la linguistique moderne et du structuralisme. Son œuvre, posthume, le *Cours de linguistique générale*, entièrement reconstitué à partir des notes de ses étudiants, est à la base même des grands courants actuels en linguistique.

³ Afin d'alléger le texte nous utiliserons l'acronyme IA.

Benvéniste nous dit que «*la pensée n'est rien d'autre que ce pouvoir de construire des représentations des choses et d'opérer sur ces représentations.*»⁴ Il pose ici sans équivoque la nature même de la pensée dans la plus pure tradition aristotélicienne. La pensée est donc propre à l'être humain. Et pour penser, l'homme se construit des représentations, à savoir des symboles. Dans cette perspective, seul l'humain peut apprendre, comprendre et interpréter des symboles. Donner un sens aux choses consiste à les dégager, les ordonner et y trouver des régularités, des facteurs communs et des récurrences. C'est un acte qui permet de comprendre pourquoi les choses sont ce qu'elles sont ou ce qu'elles ont pu être dans le passé ou seront éventuellement dans le futur. On pourrait possiblement en conclure que le monde est potentiellement intelligible parce qu'il se prête à la symbolisation.

«Il faut être capable de l'interpréter [le symbole] dans ses fonctions signifiantes et non plus seulement de le percevoir comme impression sensorielle⁵, car le symbole n'a pas de relation naturelle avec ce qu'il symbolise. L'homme invente et comprend des symboles ; l'animal non.»⁶

C'est la dichotomie classique homme/animal. L'homme possède la faculté du langage, l'animal non. Le mode de communication employé par les animaux n'aurait rien à voir avec le langage. Il s'agirait plutôt, selon Benvéniste, que d'un code de signaux. Et si l'homme semble si bien tirer son épingle du jeu parmi tous les autres animaux «*c'est dû avant tout à sa faculté de représentation symbolique, source commune de la pensée, du*

⁴ BENVÉNISTE, É., *Linguistique générale*, Tome I, coll. Tel, Paris, Gallimard, 1996, p.28.

⁵ Nous verrons plus loin, dans une autre partie de ce travail, la position du connexionisme face à cette affirmation.

⁶ BENVENISTE, É., *Linguistique générale*, Tome I, coll. Tel, Paris, Gallimard, 1996, p.27.

*langage et de la société.»⁷ Et Benvéniste poursuit en affirmant que «*le langage représente la forme la plus haute d'une faculté qui est inhérente à la condition humaine, la faculté de symboliser.»⁸* Mais elle est aussi constituante de la société car*

«le langage se réalise toujours dans une langue [...] inséparable d'une société définie et particulière. L'une et l'autre sont données. Mais aussi, l'une et l'autre sont apprises par l'être humain, qui n'en possède pas la connaissance innée.»⁹

Donc, qui dit société dit culture, et la culture

«se définit comme un ensemble très complexe de représentations organisées par un code de relations et de valeurs : traditions, religions, lois, politique, éthique, arts [...] qu'est-ce donc sinon un univers de symboles intégrés en une structure spécifique et que le langage manifeste et transmet ?»¹⁰

Le langage, vu sous cet angle, ne serait pas du tout symbolique mais plutôt un mécanisme apte à manifester et transmettre les symboles. Faudrait-il alors supposer, à l'encontre de Benvéniste, que la faculté de symboliser soit antérieure au mécanisme de transmission qu'est le langage lui-même? En fait, si on y regarde de plus près, il ne semble pas exister, du moins à notre connaissance, la moindre correspondance naturelle entre les règles de grammaire et de composition d'une langue et la manière dont l'être humain utilise le langage.

On pourrait éventuellement avancer l'hypothèse que le symbole constitue le résultat d'un remarquable phénomène de compression algorithmique de l'information. Il permet en fait

⁷ Ibid., p.27.

⁸ Ibid., p.26.

⁹ Ibid., p.29.

¹⁰ Ibid., p.30.

de réduire les complexes séquences chimiques et électriques de nos sens en de simples formes succinctes, lesquelles formes permettent un travail de pensée et de mémorisation. Le langage serait donc, quant à lui, un mécanisme de structuration permettant à une chaîne de symboles d'être interprétée sous une forme abrégée et organisée. Le langage donne alors un sens à la diversité de l'environnement dans lequel nous évoluons.

«Inextricablement lié à la compressibilité algorithmique du monde est la capacité de l'esprit d'effectuer des compressions. Nos esprits ont pris comme supports les éléments du monde physique et ont été "aiguisés", tout au moins partiellement, par le processus de sélection naturelle, pour devenir aujourd'hui "coupants". Leur aptitude à censurer l'environnement et leur capacité de survie sont reliées de manière évidente à leur qualité de compresseur algorithmique. Plus le stockage et la codification de l'expérience naturelle de l'organisme est efficace et plus l'organisme peut écarter les dangers. Dans la phase la plus récente de l'histoire de l'homo sapiens, cette capacité a atteint de nouveaux sommets de sophistication. [...] Plus précisément, nos esprits génèrent des simulations d'expériences passées dans le contexte de situations nouvelles, ce qui requiert un cerveau passablement exercé. Il est clair que les capacités mentales doivent passer un certain seuil pour effectuer une compression algorithmique digne de ce nom. On peut comprendre que ce ne soit pas le cas: s'ils étaient si fins qu'ils puissent consigner la plus petite information possible au sujet de tout ce que nous voyons et entendons, alors nos esprits seraient surchargés d'informations. [...] Le fait que nos esprits abandonnent toute ambition de collection et de traitement total de l'information a pour conséquence que le cerveau effectue une compression algorithmique de l'Univers, qu'il soit ou non effectivement compressible. En pratique, le cerveau opère par troncature.»¹¹

Est-ce que cela voudrait dire qu'il n'y a pas que l'être humain qui soit en mesure d'effectuer une compression algorithmique? En fait, aucun organisme vivant complexe ne pourrait survivre sans cette particularité. Si tel n'était pas le cas,

«le traitement de l'information serait plus lent, le temps de réaction plus long, et toutes sortes de circuits additionnels seraient requis pour passer au crible

¹¹ BARROW, J.D., *La grande théorie*, coll. Champs, Flammarion, Paris, 1996, p.250.

les données et composer des images des différents niveaux d'intensité et de profondeur de la réalité.»¹²

Le philosophe allemand Kant¹³ suggère quant à lui que l'esprit humain ne saisit que certains aspects du monde et que cette connaissance est par la force des choses *a priori*. Car, il est *a priori* vrai que l'on ne peut saisir quoi que ce soit qui ne puisse s'intégrer dans les registres de nos catégories mentales. En fait, sans le développement, au cours de l'évolution, de cette faculté à procéder à des compressions algorithmiques, l'activité cérébrale se résumerait à une simple accumulation sans but de faits, un peu comme une base de données informatiques qui serait alimentée et qui contiendrait les données concernant tous les employés d'une entreprise mais qui ne serait pas connectée à un logiciel pour être exploitée.

Finalement, ce qui est inné, ce n'est peut-être pas tant la faculté du langage si chère à Chomsky, mais cette propension que possède tout cerveau à procéder à une compression algorithmique de l'information sensorielle en vue de la délivrer sous forme de symboles. En ce sens, la complexité croissante même du cerveau autorise une compression algorithmique de plus en plus fine et permet éventuellement l'émergence de mécanismes aussi complexes que le langage et la cognition. Mais pour en arriver à émettre cette hypothèse que nous utiliserons tout au long de ce travail à savoir que le symbole est le fruit d'une compression algorithmique et que le langage est un mécanisme ou renvoie à des

¹² Ibidem.

¹³ KANT, E., *Prolégomènes à toute métaphysique future*, Paris, Gallimard, La Pléiade, 1985.

opérations énonciatives qui structurent des chaînes de symboles afin de les manifester, voyons comment les travaux de différents chercheurs ont pu nous y amener.

1.3 Saussure

Ferdinand de Saussure, en tant que linguiste, se posa la question suivante : «*que se passe-t-il entre les mots et le monde ?*». Cette simple question, par le seul fait d'être posée, entraîna une refonte de toute une phénoménologie du langage alors véhiculée et entretenue par les succès éclatants de la grammaire comparée. Ce paradigme, dominant au XIX^e, réussit à démontrer de façon éloquente les rapports de parenté existant entre les différents faisceaux de langue indo-européens et d'autres familles linguistiques. Le degré de certitude de ces méthodes était à ce point probant que la linguistique comparée détrôna d'autres types de recherches historiques et occulta même d'autres champs de la recherche linguistique.¹⁴ D'un autre côté, les travaux en géographie linguistique permirent de comprendre que la diffusion de certains traits linguistiques sur un territoire géographique donné (isoglosses) n'avait rien à voir avec les divisions artificielles entre langues et dialectes que proposaient les comparatistes. Ce sont ces deux traditions qui attirèrent l'attention de Saussure sur de nouveaux problèmes et qui lui fournirent de nouveaux outils d'analyse pour aborder l'étude de la langue.

Le mot, sous l'analyse de Saussure, devient symbole. Ce symbole est aussi signe, lequel signe est composé d'un signifiant et d'un signifié. On peut se représenter le signifiant

¹⁴ La linguistique qui menait des réflexions sur le langage.

comme le contenant et le signifié comme le contenu. Par exemple, le mot est un signifiant et les différentes acceptations de sens représentent son contenu. Saussure considère également la langue comme un système de signes¹⁵ : le signe linguistique unit un concept et une image acoustique, c'est-à-dire un signifiant et un signifié. Le signe est donc une entité concrète, un objet factuel et qui peut s'opposer aux autres signes dans le mécanisme de la langue. Le signe a donc une valeur intrinsèque, et qui dit valeur, dit système de valuation. Et comment s'organise ce système ? En terme de rapports entre les signes. Imaginons un plan cartésien, où sur l'axe des *x*, nous observons un rapport syntagmatique, c'est-à-dire la façon dont les signes peuvent s'agencer et s'ordonner entre eux (i.e. la phrase). Par extension, nous comprendrons que cet enchaînement syntagmatique varie selon les règles et contraintes propres à une langue donnée (i.e. syntaxe). Sur l'axe des *y*, nous retrouvons le rapport paradigmatic, un rapport associatif qui détermine quels sont les signes qui sont aptes à entrer dans la chaîne syntagmatique sans pour autant transgresser les rapports sémantiques entre tous les éléments. Le rapport paradigmatic n'est ni plus ni moins qu'un crible catégoriel où on puise les symboles nécessaires à l'organisation d'une chaîne syntagmatique. Et c'est là qu'il y a valuation et qu'est assignée une valeur qui fait en sorte que la chaîne syntagmatique est conforme aux résultats attendus en langue. En fait, on peut en déduire que, s'il y a un système de symboles, c'est qu'il doit forcément y avoir un système de règles qui le régit. On peut alors supposer une logique inhérente à ce système. On parlera donc de logique symbolique, un courant qui, de 1850 à 1950, a largement marqué la pensée scientifique moderne.

¹⁵ Signe est ici l'équivalent de symbole.

1.4 La logique symbolique

On pourrait considérer, à juste titre, que Leibniz fut vraiment le précurseur de toute la logique moderne. Il proposa l'hypothèse que toute idée complexe peut se décomposer en idées simples ne possédant aucun élément commun. Ainsi, si on représente par un signe chaque idée simple et chaque opération que l'on peut effectuer sur les idées, il devient possible de concevoir une science intégrale en combinant ces signes de toutes les manières possibles. Inutile ici de préciser que ce rêve ne fut jamais réalisé. Ce n'est qu'un siècle plus tard, vers 1850, que les travaux de deux mathématiciens anglais permirent de jeter les fondements de la logique symbolique: De Morgan, à la même époque, élabora le concept de logique des relations tandis que Boole le fit pour la logique des classes. Les travaux de Boole ont littéralement jeté les bases de l'analyse de la pensée. Dans son ouvrage *Les lois de la pensée* paru en 1854, il s'attacha à mathématiser les processus fondamentaux du raisonnement et étudia comment réunir puis recouper classes et sous-classes d'objets. Pour ce faire, il attribua des symboles aux opérations d'union (\cup) et d'intersection (\cap). Par exemple, si l'ensemble A contient les éléments $\{1,2,3,4,5,6\}$ et si l'ensemble B contient les éléments $\{3,4,7,8\}$, l'intersection de A et B ou $A \cap B$ donnera le sous-ensemble composé des éléments $\{3,4\}$. En somme, ce que Boole avait réalisé, c'était de manipuler de façon rigoureuse et quasi mécanique des catégories. Comme nous le verrons au chapitre 4, opérer un travail sur de telles catégories constitue une activité à la base du raisonnement humain.

Le formalisme proposé par Boole souffrait par contre d'une certaine lacune: il ne permettait pas de manipuler des propositions faisant appel à des notions vagues et

générales. C'est à cette tâche que s'attela Gottlob Frege¹⁶ dès 1879. Il introduisit la notion de prédicat, une entité logique vraie ou fausse et comportant des variables n'ayant aucune propriété logique. Ainsi, le prédicat $\text{PERE}(x,y)$ signifie que x est un père de y est vrai si un individu x est effectivement le père de y . Alors, le prédicat $\text{PARENTS}(x,y)$ est vrai si le prédicat $\text{PERE}(x,y)$ est vrai et si le prédicat $\text{MERE}(x,y)$ est vrai. On obtient, à ce niveau, un calcul de prédicat, un principe largement utilisé aujourd'hui en intelligence artificielle. En plus du prédicat, Frege introduisit la notion de quantificateur. Au nombre de deux, ces quantificateurs permettent d'affecter des valeurs aux variables du prédicat.

1. Le quantificateur universel $\forall x$ "*pour tout x*" signifie qu'une proposition logique est vraie pour toutes les valeurs de x .
2. Le quantificateur existentiel $\exists y$ "*il existe un y tel que*" signifie qu'il existe au moins une valeur de y pour laquelle la proposition est vraie.
3. Le quantificateur singulier $\exists!y$ "*il existe un seul y tel que*" signifie qu'il existe une seule et uniquement une seule valeur de y pour laquelle la proposition est vraie.

Frege avait donc jeté les bases d'un calcul pensant où il était devenu possible de démontrer des théorèmes généraux en appliquant tout simplement des règles à des ensembles de symboles définis par l'utilisateur. En d'autres mots, celui qui définit l'argument logique est le "seul" à en comprendre toute la signification, ce qui entraîne, il va sans dire, une certaine subjectivité. Donc, confronté aux ambiguïtés de la langue parlée et écrite, et surtout aux lacunes de la logique classique d'Aristote, Frege mit en évidence la dichotomie classique entre sens et référence, c'est-à-dire :

1. ce par quoi deux éléments de la langue s'opposent ou sont synonymes ;
2. de la dénotation qu'est la référence de l'expression.

¹⁶ Frege, Gottlob (1858-1925). Mathématicien et philosophe allemand, fondateur de la logique mathématique moderne.

Les règles et les conventions du langage ne peuvent déterminer qu'indirectement la dénotation. Donc, le même sens, dans des contextes différents, peut impliquer différentes dénotations.

En 1910, Alfred North Whitehead et Bertrand Russel¹⁷ dans leur célèbre *Principia Mathematica* soulevèrent une contradiction dans la théorie de Frege au niveau du problème de la résolution des classes de classes : celui de l'auto-référence. L'idée au cœur même de cet ouvrage était d'éliminer de la logique tout contenu, tout objet déterminé ou intuition, et de n'utiliser que des symboles que l'on aurait arbitrairement définis. On dira alors que la logique est elle-même une syntaxe extrêmement rigoureuse qui agence entre eux les signes puisque les symboles désignent soit des propositions, soit des relations entre propositions, soit des éléments de propositions, etc. Donc un symbole est un signe et un signe comporte, comme nous l'avons vu avec Saussure, un sens, autrement on pourrait écrire n'importe quoi. Par contre, la logique exclut toute forme de sémantique. Le sens des propositions que la sémantique représente, c'est-à-dire leur rapport aux objets, au monde, au contexte, n'est jamais pris en considération. Le but premier de la logique symbolique est de constituer un système de symboles ou, si on préfère, une théorie de l'implication et du calcul où la logique n'est plus seulement une mécanique explicative des lois de la pensée comme celle de la logique booléenne. Le but de Russell était en fait de démontrer que l'on peut réduire tout concept mathématique à des concepts purement logiques où toute connaissance

¹⁷ Russell, Bertrand (1872-1970). Philosophe et logicien britannique. Son ouvrage, *Principia Mathematica*, fut non seulement à l'origine de l'élaboration d'une logique formelle des relations, mais aussi du renouveau de l'empirisme dans le domaine de la théorie de la connaissance.

factuelle est le résultat d'une expérience immédiate et concrète. Envisagée sous cet angle, la dénotation d'une expression dans un contexte donné est directement liée aux règles de convention du langage.

Quelques années plus tard, un des élèves de Russell, Ludwig Wittgenstein¹⁸, dans son ouvrage *Tractatus*, démontre que le langage, formé de propositions complexes, peut se décomposer en propositions moins complexes afin d'en dégager des propositions plus élémentaires, reprenant en cela les idées lancées un siècle auparavant par Leibniz. En principe, le système de symboles devrait se suffire. Par contre, dès que l'on dit quelque chose à propos de ces mêmes symboles, que l'on tente de leur injecter du sens, on recourt par la force des choses à une mét-langue. Par voie de conséquence, si on réfléchit sur la logique pour en définir son but on passe alors à un plan métalogique. Ce qui n'est pas, il faut l'avouer, sans poser de problèmes particuliers. Ainsi donc, seules les propositions qui représentent des faits sont pourvues de sens du point de vue cognitif. Par la force des choses, le langage ne peut être compris que par son usage dans un contexte donné. Le sens d'une proposition logique élémentaire est fonction du contexte.

En 1931, un jeune mathématicien autrichien, Kurt Gödel, mit en doute l'élégant système formulé dans les *Principia Mathematica* et démontre que tout système logique ne permettrait jamais de démontrer des propositions fausses pour la simple raison qu'une proposition fausse est indémontrable. Car, le seul fait de dire qu'une proposition est

¹⁸ Wittgenstein, Ludwig (1889-1951). Philosophe britannique d'origine autrichienne. Il démontra qu'il était impérieux de concevoir la philosophie comme une analyse linguistique ou conceptuelle.

indémontrable est forcément une proposition vraie! C'est donc que la cohérence du système logique est prise en défaut. En fait, on a transcendé ainsi la capacité du système logique.

De son côté, Rudolf Carnap¹⁹ en arriva à la conclusion que tous les problèmes sont réductibles à des problèmes de langage²⁰. Il avança également l'hypothèse que toute connaissance se rattache forcément à des données sensibles et factuelles. En 1961, J.R. Lucas, démontre qu'un système logique ne peut reconnaître la validité d'une phrase puisqu'il ne peut réfléchir à la signification de la phrase, ce que peut, par contre, réaliser très facilement un être humain. On le constate, la nature même du symbole a fait couler beaucoup d'encre et en fera couler encore beaucoup.

Le tableau de la page suivante, qui nous permettra de mieux synthétiser la nature du symbole, nous brosse un rapide portrait de la vision, tant de Frege, de Russel, de Wittgenstein que de Carnap tant au niveau des connaissances qu'au niveau logique.

Tableau #1 : La nature du symbole

Niveau connaissance	Niveau logique
Frege : la connaissance nous est donnée par ce que nous en présentent les faits.	Frege : c'est le contexte qui détermine la dénotation d'une expression.
Wittgenstein : seules les propositions qui représentent des faits sont pourvues de sens du point de vue cognitif.	Wittgenstein : c'est le contexte qui détermine la dénotation d'une expression.
Russell : toute connaissance factuelle est le résultat d'une expérience immédiate et concrète.	Russell : la dénotation d'une expression est liée aux conventions du langage.
Carnap : toute connaissance se rattache à des données sensibles et factuelles.	Carnap : la dénotation d'une expression est liée aux conventions du langage.

¹⁹ Carnap, Rudolf (1891-1970). Philosophe et mathématicien allemand, figure éminente du Cercle de Vienne, et porteur du courant du positivisme logique ou empirisme logique.

²⁰ C'est d'ailleurs sur ce principe que sont fondés l'ensemble des langages artificiels servant aujourd'hui à programmer les ordinateurs.

Si on examine de plus près ce tableau, on peut constater qu'un dénominateur commun sous-tend l'ensemble des travaux de ces philosophes : c'est le fait que toute connaissance ou fait empirique corresponde au moins approximativement à l'image que nous en donnent nos sens, connaissances qui s'articulent sous forme de symboles et qui sont réductibles à une logique. Et qui dit réductible à une logique dit compression algorithmique. Mais le fait de fonder la connaissance sur des fait empiriques remonte à une très vieille tradition. Aristote avait déjà démontré «*qu'il n'y a rien dans l'intellect qui ne fut d'abord dans les sens*»²¹ et que, par le fait même, la connaissance se base sur l'expérience sensible. Un peu plus tard, au XIII^e siècle, Thomas d'Aquin²² affirma que «*toute connaissance émerge du contact des sens avec les objets, mais que les données sensorielles ne deviennent intelligibles que par l'action de l'intellect*», donc de sa capacité à symboliser. L'analyse serait donc, à la lumière de ces connaissances, un processus déductif à partir de raisonnements bâtis sur l'expérience et l'observation précise. Plusieurs débats actuels, tant en linguistique qu'en IA, tournent d'ailleurs autour de la dichotomie présentée au niveau logique dans le tableau précédent à savoir que:

1. c'est le contexte qui détermine la dénotation d'une expression;
2. la dénotation d'une expression est liée aux conventions du langage.

Mais, c'est surtout le deuxième aspect qui semble avoir conduit aux travaux fondateurs du mathématicien Alan Turing portant sur le logique symbolique et plus tard à ceux de Chomsky et de tout le mouvement de l'IA au tournant des années cinquante.

²¹ Comme il n'y a rien de neuf sous le soleil, nous verrons un peu plus loin dans ce mémoire comment les connexionnistes abordent ce problème.

²² d'Aquin, Thomas, (1225-1274) philosophe et théologien italien. Son œuvre a marqué tout le courant de la philosophie occidentale pendant plus de cinq siècles.

1.5 Machine de Turing

Tout comme Gödel, Alan Turing²³, en 1936, en arriva à la conclusion que certains types de calculs ne pourraient jamais être effectués par les systèmes logiques. Ce qui ne l'empêcha pas pour autant d'élaborer le concept d'un appareil théorique de calcul de propositions logiques. Il

«démontra que toute machine capable d'effectuer les opérations élémentaires nécessaires à la réalisation d'un calcul étaient équivalentes, isomorphes, à une machine universelle, la plus générale et la plus simple possible.»²⁴ «[...] l'ensemble le plus simple de propositions est suffisant pour montrer qu'un système nerveux peut calculer n'importe quel nombre calculable par une machine. »²⁵

On revient ici à l'idée de Wittgenstein selon laquelle le langage, formé de propositions complexes, peut être décomposé en propositions moins complexes afin d'en arriver à faire ressortir des propositions plus élémentaires. Et seules les propositions représentant des faits sont pourvues de sens du point de vue cognitif. Donc, si on peut décrire le langage comme une machine de Turing, c'est-à-dire par des algorithmes, on peut établir un parallèle entre les opérations de l'esprit et les opérations de la machine.

«Ainsi, si chaque langue possède une sorte de code minimal, au sens de Von Neumann²⁶, dont une langue particulière serait une représentation, alors chaque langue peut s'exprimer dans ce code universel. [...]. Ce qui entraîne que toutes les langues, suivant cette hypothèse, seraient équivalentes entre elles. [...]. On peut ainsi définir une sorte de classe d'équivalence, un langage général, à partir de l'ensemble des langues naturelles parlées, qui contiendrait en elle-même, au-delà des particularismes propres à chaque langue, la nature ultime d'une langue. Dans cette opération fictive, cette analyse phénoménologique de l'activité cérébrale à travers la catégorie du langage,

²³ Turing, Alan, (1921-1954), mathématicien et logicien britannique. Il démontra qu'il était possible d'automatiser les processus de la logique.

²⁴ NEUMANN, J.VON., *L'ordinateur et le cerveau*, coll. Champs, Paris, Flammarion, 1996, p.105.

²⁵ Ibid., p.111.

²⁶ Neumann, John Von, (1903-1957), mathématicien, concepteur du premier calculateur électronique.

nous réinterprétons implicitement le fonctionnement cérébral au travers d'une analogie avec une machine universelle»²⁷,

donc une machine de Turing. La langue ne serait donc pas transmise génétiquement : elle serait socialement apprise²⁸. Seul le support nécessaire au langage, par analogie le *hardware*, serait génétiquement fourni : dans le cerveau, selon les localisationnistes, ce sont les zone de Broca et zone de Wernicke²⁹. On peut donc en conclure que le *hardware* génétiquement implanté pour les fins du langage serait suffisamment universel pour se comporter comme une machine de Turing car il inclut la possibilité de parler toutes les langues.

1.6 Chomsky et la grammaire générative

Chomsky prétend que

«nous sommes nés avec des organes mentaux déterminés génétiquement, dont l'un est spécialisé dans le langage et contient des systèmes de règles spécifiques qui ne peuvent pas provenir – par induction, abstraction, analogie ou généralisation – de données issues de l'expérience, au sens que l'on donne à ces termes, pas plus que la structure de base du système visuel des mammifères ne provient, par induction, de l'expérience. Selon Chomsky, le cerveau ne pourrait pas utiliser les échantillons de langage que l'enfant entend pour en déduire les règles nécessaires à la production de phrases grammaticales.»³⁰

En fait, Chomsky nous parle avant tout de compétence linguistique. Utiliser une langue, c'est produire et connaître des phrases qui n'ont jamais été utilisées précédemment. C'est donc là, au sens où Chomsky l'entend, une compétence, laquelle compétence linguistique

²⁷ NEUMANN J.VON., *L'ordinateur et le cerveau*, coll. Champs, Paris, Flammarion, 1996, p.113.

²⁸ Comme la plupart de toutes les autres activités intellectuelles supérieures.

²⁹ Cette notion de localisation d'aires spécifiques dans le cerveau liées au langage part du postulat que le cerveau est un assemblage d'unités fonctionnelles hautement spécialisées. C'est Paul Broca qui, au XIX^e siècle, a convaincu le monde médical qu'il y avait localisation fonctionnelle au niveau cérébral.

³⁰ ROSENFIELD, I., *L'invention de la mémoire*, coll. Champs, Paris, Flammarion, 1994, p.165.

ferait partie du bagage génétique de l'être humain. La faculté du langage serait donc, selon Chomsky, innée. Le thème central de cette théorie est à l'effet qu'une grammaire consiste en un système de règles. On rejoue forcément ici un autre aboutissement de la logique symbolique tel que l'avait envisagé Turing : tout acte de langage est le résultat d'un certain nombre d'opérations logiques de contrôle, d'adéquation, de calcul et de mémoire. Donc, la pensée équivaut à un calcul. Dans une telle perspective, il est permis de supposer l'existence d'universaux du langage, puisqu'il s'agirait de processus communs à tous les êtres humains. Et c'est ici que Chomsky rejoue l'école de Port Royal et les recherches qui ont eu cours au XVII^e siècle sur les langues universelles.

Chomsky ouvre le débat de la grammaire générative de la façon suivante :

*«nous appellerons langue un ensemble (fini ou infini) de phrases, chacune d'entre elles étant de longueur finie et composée d'un ensemble fini d'éléments. [...] L'objectif fondamental de l'analyse linguistique d'une langue L est de séparer les suites grammaticales qui sont des phrases de L, des suites agrammaticales qui ne sont pas des phrases de L, et d'étudier la structure des suites grammaticales.»*³¹

On constate ici que Chomsky se trouve tributaire de l'empirisme logique car il commence par définir la langue comme un système de règles soumis à des contraintes grammaticales précises. Par exemple, en géométrie, l'équation $y = mx - b$ est grammaticale. C'est-à-dire que la syntaxe, l'ordre dans lequel sont agencés les symboles correspond à la pente d'une droite. Par contre, l'équation $y = mx^2$ serait agrammaticale pour calculer la pente d'une droite car elle décrit une courbe. Il semblerait donc que, tout comme en logique symbolique, on «est forcé de conclure que la grammaire est autonome et indépendante du

³¹ CHOMSKY, N., *Structures syntaxiques*, Paris, Seuil, p.15.

sens.»³² C'est-à-dire que le sens est lié à la syntaxe. Comment Chomsky prétend-il alors nous démontrer la validité d'une telle proposition?

«Supposons une machine pouvant passer par un nombre fini d'états et supposons que cette machine émette à chaque transition d'un état à un autre un certain symbole (disons : un mot anglais). Un des ces états est initial, un autre est final. Supposons que la machine parte de l'état initial, passe successivement par une série d'états en émettant un mot à chaque transition, et aboutisse à l'état final. Nous appellerons alors la suite de mots produite une phrase. Une telle machine définit ainsi un certain langage, à savoir l'ensemble des phrases qui peuvent être produites de cette façon.»³³

Si nous avons bien compris ce que le linguiste nous dit, nous sommes en présence d'une machine de Turing et nous pouvons réinterpréter le fonctionnement du langage au travers d'une machine universelle. «*Cette conception du langage est extrêmement puissante et générale. Si nous l'adoptons, nous considérons le locuteur comme étant essentiellement une machine de ce type.*»³⁴

Un autre aspect important de la grammaire générative de Chomsky est d'avoir mis en évidence le fait que la linguistique, avant celle-ci, avait porté toute son attention sur la structure de surface des énoncés plutôt que sur la structure profonde. Dans la perspective chomskienne

«la structure profonde représente un système de rapports grammaticaux sur lequel se fonde l'interprétation sémantique de l'énoncé; tandis que l'interprétation phonétique se fonde sur la structure superficielle.»³⁵

³² Ibid., p.19.

³³ Ibid., p. 21-22.

³⁴ Ibid., p. 117.

³⁵ LEPSCHY, G.C., *La linguistique structurale*, Paris, Payot, 1976, p.193.

Donc, s'il y a existence d'une structure profonde, c'est qu'on peut imaginer un système de règles permettant la montée organisée et structurée d'un énoncé en surface; c'est ce que l'on nomme la grammaire transformationnelle. Par exemple, dans l'énoncé *Peter is eager to please*, *Peter* est l'objet de *please*, tandis que dans *Peter is easy to please*, *Peter* est sujet de *please*. Cette distinction grammaticale est constitutive de la structure profonde. Et pour que ces deux structures se réalisent en surface, il suffira d'appliquer des règles de transformation.

Ce que nous pouvons comprendre à ce stade-ci, c'est que Chomsky, respectant les préceptes de la logique symbolique, ne fait que nous démontrer un simple calcul propositionnel. Il n'y a rien là, à notre avis, qui représente un quelconque processus de cette nature dans notre cerveau.

*«Ce ne sont que des classes d'équivalence entre structures de surface au travers de transformations relativement banales. Ce qui, en revanche, serait beaucoup plus intéressant à mettre en évidence, [...] , c'est la dynamique génératrice des structures profondes.»*³⁶

1.7 Pensée et langage = opérations logiques

Dans la perspective de Turing et Von Neumann, tout acte de pensée et de langage est le résultat d'un certain nombre d'opérations logiques de contrôle, d'adéquation, de calcul et de mémoire : la pensée symbolise, organise, gère et manipule des symboles. Et l'équation est simple : pensée = calcul. Si l'équation est fondée, c'est qu'on peut identifier à la fois les universaux du langage puisqu'il s'agirait de processus communs à tous les êtres humains. C'est sur ce postulat que se fondent les sciences cognitives. Nous sommes en droit de nous demander si cette façon de décrire l'appareil psychique humain en termes de calculs logiques opératoires est entièrement justifiée et correctement étayée. N'y a-t-il pas plutôt là une analogie à faire entre la pensée mécaniste du XVII^e siècle et l'adéquation moderne

³⁶ THOM, R., *Paraboles et catastrophes*, coll. Champs, Flammarion, Paris, 1983, p.137.

d'assimiler le cerveau et l'esprit à un ordinateur ? C'est une question intéressante qui nous amène au propos du prochain chapitre.

Chapitre 2

Les sciences cognitives

2.1 Introduction

Sous le vocable de sciences cognitives, nous regroupons des sciences et des disciplines aussi diverses que l'informatique, la linguistique, les neurosciences et l'épistémologie. Elles se sont données comme tâche de procéder à une analyse scientifique des mécanismes de l'esprit et de la connaissance. Elles

«scrutent la connaissance et ses supports sous tous leurs rapports, qu'ils soient individuels, psychologiques ou neurologiques, qu'ils soient sociaux, économiques ou géographiques, qu'ils soient linguistiques ou qu'ils soient philosophiques.»¹

Elles sont en fait une réaction au *behaviorisme*, paradigme dominant des années quarante, qui expliquait le comportement humain par le biais de conditionnements. Dans cette approche, deux types de conditionnements ressortaient tout particulièrement: le conditionnement répondant ou classique où le sujet agit «à cause de» dont Pavlov est le grand représentant, et le conditionnement opérant mis au point par B.F. Skinner² où le sujet agit «afin de». Le comportement opérant était renforcé ou affaibli par les événements qui suivent la réponse, tandis que le comportement répondant était contrôlé par ses antécédents. Nous constatons, avec le recul du temps, que cette perspective faisait en sorte de superposer

¹ GANASCIA, J.G., *Les sciences cognitives*, coll. Dominos, Paris, Flammarion, 1996.

² SKINNER, B.F., *Science and Human Behavior*, New York, Macmillan, 1953.

au sujet autonome pensant et réfléchissant un sujet boîte noire qui n'agissait que par réaction à des stimuli donnés, ce qui allait en parfaite contradiction avec ce que l'arrivée des calculateurs électroniques imposait comme représentation du monde. En fait, on peut dire que l'entrée en scène des premiers ordinateurs a ouvert une brèche importante dans la façon d'appréhender le monde environnant. Dès lors, un questionnement est venu hanter les chercheurs: un ordinateur serait-il un jour en mesure de comprendre le langage, de reconnaître des images ou encore de devenir un robot tout à fait autonome? C'est donc dans ce contexte que sont nées les sciences de la cognition, les technologies de la cognition³ et le cogniticien.

Les STC⁴ ne peuvent être définies comme une science en tant que telle, au sens où la physique quantique en est une. Elles se fondent sur le postulat «*que le comportement intelligent presuppose la faculté de se représenter le monde d'une certaine façon.*»⁵ C'est vers 1956 que celles-ci naissent sous l'influence de chercheurs tels Herbert Simon⁶, Noam Chomsky⁷, Marvin Minsky⁸ et qu'apparaissent les paradigmes⁹ qui seront à l'origine d'une

³ Pour alléger le texte, nous emploierons, tout comme le fait Varela, l'acronyme STC.

⁴ Leurs préoccupations se situent essentiellement sur le plan cognitif en passant par l'analyse des phénomènes de perception, de la production du langage, des processus d'inférence, des émergences dynamiques et des montées en abstraction.

⁵ VARELA, F.J., *Invitation aux sciences cognitives*, coll. Sciences-Points, Paris, Seuil, 1989, p.37.

⁶ Herbert Simon, mathématicien, l'un des fondateurs de l'IA moderne et des Conférences de Macy.

⁷ Chomsky, Noam, linguiste américain considéré comme le fondateur de la grammaire générative. Son apport à la linguistique est d'avoir envisagé que la production d'énoncés se résume à des suites de processus susceptibles d'être analysés logiquement par le biais de transformations.

⁸ Minsky, Marvin, mathématicien et informaticien du MIT, est surtout reconnu pour sa notion de *frames* où l'environnement est représenté sous formes de scénario complets.

⁹ Un paradigme est le terme usuel introduit par Thomas Kuhn et employé pour référer à l'ensemble des idées d'une discipline scientifique. (KHUN, T., *La structure des révolutions scientifiques*, Paris, Flammarion, 1982).

multitude de travaux. Et ce qui est important, c'est que par la convergence des recherches effectuées en sciences cognitives, pour la première fois

«la connaissance est devenue tangiblement liée à une technologie qui transforme les pratiques sociales sur lesquelles elle repose - l'IA en étant l'exemple le plus frappant. [...] En d'autres mots, au moyen de la technologie, l'exploration scientifique de l'esprit tend à la société un miroir d'elle-même ignorée, bien au-delà du cercle du philosophe, du psychologue ou du penseur.»¹⁰

Par contre, comme il s'agit d'une convergence de plusieurs disciplines scientifiques, plusieurs acteurs de cette scène ne s'entendent pas du tout sur la légitimité à la fois des procédures, de la réalité des choses et surtout des finalités. L'un des moyens privilégiés par les STC pour confronter les hypothèses avec les données factuelles est de programmer ce que l'on croit être des fonctions cognitives sur ordinateur. D'aucun y verront là que techniques et trucs d'informaticiens tandis que d'autres y verront un audacieux tremplin pour supporter leurs théories.

Pour les STC, les moyens mis en œuvre, tant sur le plan conceptuel que technologique sont grands. Pour preuve, quelle discipline scientifique ne s'est pas dite d'obédience cognitiviste au cours des dernières années pour s'attirer des fonds de recherche? Des financements publics majeurs leurs ont été octroyés, des congrès d'importance mondiale se tiennent régulièrement, des revues de renom y consacrent leurs pages et surtout, des applications industrielles commencent à voir le jour. En 1975, John Holland, de l'Université du Michigan, mettait au point le concept d'algorithme génétique, lequel concept consiste à

¹⁰ VARELA, F.J., *Invitation aux sciences cognitives*, coll. Sciences-Points, Paris, Seuil, 1989, p.11.

laisser évoluer des populations de logiciels en compétition les uns avec les autres pour trouver la solution la mieux adaptée à un problème donné. Ce type de programmation est aujourd'hui appliqué dans des secteurs industriels très diversifiés allant de l'aéronautique à l'environnement en passant par la haute finance jusqu'à la micro-électronique.

Rodney Brooks¹¹ et son équipe du MIT, quant à eux, s'affairent à construire des minirobots proches de l'insecte et aptes à se déplacer dans des environnements complexes, de repérer, suivre ou éviter des organismes vivants, de déterminer des stratégies en vue de franchir des obstacles, d'explorer et de manipuler. La NASA prévoit même utiliser une version améliorée de ces minirobots pour l'exploration prochaine de la planète Mars. À Kyoto, au Japon, l'équipe dirigée par Hugo de Glaris s'est attelée à la tâche de fabriquer un cerveau de silicium composé de plus d'un milliard de neurones artificiels, l'objectif étant de parvenir à une telle densité de connexions neuronales artificielles qu'une certaine forme d'intelligence autonome puisse éventuellement émerger. À partir des modèles de réseaux neuronaux on fabrique aujourd'hui des systèmes à multiprocesseurs capables de reconnaître des formes, de l'écriture manuscrite, des séquences vidéos et de la voix en temps réel. Plus surprenant encore, le SQUID (Superconducting Quantum Interference Device), développé à l'université d'Helsinki, a permis d'identifier et de mesurer, de façon non invasive et par le simple port d'un casque spécial, ce que l'on nomme la parole silencieuse produite par le cerveau au moment de la reconnaissance de l'objet et de sa traduction sous forme de

¹¹ Brooks, R.A., Fujitsu Professor of Computer Science and Engineering (EECS Dept), and Director of the Artificial Intelligence Laboratory at the Massachusetts Institute of Technology, <http://www.ai.mit.edu/people/brooks.html>

phonèmes. À partir de cette reconnaissance effective, un ordinateur couplé au casque peut transcrire à l'écran un phonème ou éventuellement un mot complet correspondant à l'objet perçu.

«When a group of neighboring neurons in the brain act in concert, the magnetic signal generated by them can be measured outside the subject's head. From the field distribution it is then possible to identify the active brain region.»¹²

On comprendra alors fort bien qu'avec tous ces enjeux industriels et commerciaux majeurs, que tout projet de recherche qui ne serait pas quelque peu teinté de cognitivisme risque de manquer le coche et se voir refuser des financements plus que substantiels par les géants de la haute technologie. Mais pourquoi les STC possèdent-elles cet aspect si éclatant tant au niveau théorique qu'à celui de l'application?

En fait, depuis une quarantaine d'années, les STC bousculent plusieurs paradigmes scientifiques déjà bien établis. Les résultats obtenus fournissent de nouveaux outils d'analyse et attirent l'attention sur de nouveaux problèmes et ouvrent «*des perspectives suffisamment vastes pour fournir à ce nouveau groupe de chercheurs toutes sortes de problème à résoudre.»*¹³ Il y a donc eu, avec l'arrivée des STC, apparition de nouveaux paradigmes au sens où Khun l'entend et qui sont, pour la grande majorité, regroupés sous trois grands vocables: le cognitivisme, le connexionisme et le constructivisme. À partir du tableau de la page suivante répertoriant les préoccupations de chacun de ces paradigmes par le biais de trois questions, nous tenterons une exploration de ceux-ci.

¹² *I22-SQUID neuromagnetometer*, in SELECTED RESEARCH INTERESTS, Helsinki University, <http://boojum.hut.fi/triennial/squid.html>.

¹³ KHUN T., *La structure des révolutions scientifiques*, coll. Champs, Paris, Flammarion, 1983, p.31.

Tableau #2 : Différents paradigmes des sciences cognitives

Questions	Cognitivisme¹⁴	Connexionisme¹⁵	Constructivisme¹⁶
Qu'est-ce que la cognition?	Le traitement de l'information : la manipulation de symboles à partir de règles.	L'émergence d'états globaux dans un réseau de composants simples.	Une montée en abstraction d'ajustements successifs.
Comment cela fonctionne-t-il?	Par n'importe quel dispositif pouvant représenter et manipuler des éléments physiques discontinus : des symboles. Le système n'interagit qu'avec la forme des symboles, et non leur sens.	Des règles locales gèrent les opérations individuelles et des règles de changement gèrent les liens entre les éléments.	Des fonctions d'adaptation, d'adéquation et de structuration agissent sur des représentations locales par niveaux.
Comment savoir qu'un système cognitif fonctionne de manière appropriée?	Quand les symboles représentent adéquatement un quelconque aspect du monde réel et que le traitement de l'information aboutit à une solution efficace du problème soumis au système.	Quand les propriétés émergentes (et la structure résultante) sont identifiables à une faculté cognitive – une solution adéquate pour une tâche donnée.	Quand l'abstraction formée représente une orientation adéquate du but poursuivi par le système.

Ces trois paradigmes, aujourd'hui présents au sein des sciences cognitives, ont longtemps été à des années-lumières les uns des autres. Bien que les premiers travaux portant sur des machines intelligentes se fondèrent sur la rétroaction, phénomène observé dans les systèmes neuronaux biologiques, c'est en fait la logique symbolique qui fonda l'IA en 1956 lors de la conférence de Dartmouth. La logique symbolique se prêtant mieux à la technologie des premiers calculateurs électroniques, les pères de l'IA considérèrent que ceux-ci seraient plus aptes à reproduire les rouages du raisonnement humain. Ce sont Alan Newell, Herbert Simon, John McCarthy et Marvin Minsky qui jetèrent les bases d'une IA toute concentrée sur le traitement symbolique.

¹⁴ VARELA F.J., *Invitation aux sciences cognitives*, coll. Sciences-Points, Paris, Seuil, 1989, p. 42.

¹⁵ Ibid., p.77.

¹⁶ Il s'agit de notre propre formulation.

Mais ce ne furent pas tous les scientifiques qui, à l'époque, tombèrent sous le charme de cette discipline naissante. Norbert Wiener du MIT continua quant à lui à s'intéresser aux phénomènes de rétroaction et aux réseaux de neurones artificiels. Par ses travaux, il fonda ni plus ni moins que la science de la cybernétique ou science du contrôle par rétroaction. L'un des buts de cette dernière est d'expliquer comment un processus renvoie le résultat d'un contrôle vers un mécanisme régulateur. Par exemple, les oiseaux de proie ajustent leur approche vers leur cible en ajustant leurs mouvements d'ailes en fonction de processus de rétroaction visuels. En fait, ce que Wiener fit, ce fut de démontrer qu'un système rétroactif correspond à un ensemble de mécanismes de traitement de l'information. Une fois cette information reçue, une décision est prise pour diriger le système vers telle ou telle décision à prendre. D'ailleurs, le thermostat régulateur d'une pièce de la maison en est un bon exemple. Par conséquent, Wiener proposa l'hypothèse que tout comportement intelligent pouvait résulter de tels mécanismes de rétroaction intégrés au cœur des systèmes rétroactifs. Alors, par extension, selon lui, l'intelligence serait la résultante de tels processus de réception et de traitement de l'information.

C'est donc par le biais de ces deux approches, celle du traitement symbolique qui est à l'origine même du cognitivisme, et celle de la cybernétique qui est fondatrice du connexionisme, que les sciences cognitives ont vu le jour. D'un point de vue purement descriptif, on pourrait dire que l'IA a pour but de concevoir des machines intelligentes. Pour atteindre cet objectif, elle a dû puiser dans d'autres disciplines scientifiques telles la psychologie et la linguistique. La psychologie, dans un tel contexte, étudie comment les

individus se comportent et pensent. La linguistique, quant à elle, cherche à décoder les mécanismes de production du langage. Il va sans dire que, au demeurant, ces disciplines ont des méthodologies et des philosophies fort différentes l'une de l'autre. Les sciences cognitives prétendent réunir différentes disciplines afin d'en arriver à isoler les processus cognitifs à l'œuvre chez l'être humain. L'intelligence est-elle innée? Se développe-t-elle après la naissance? Pourrait-elle devenir machine pensante? N'est-elle propre qu'à l'être humain? Autant de questions qui en soulèvent bien d'autres. Par exemple, la logique humaine est-elle la seule forme de logique qui puisse rendre compte du phénomène de la cognition?

2.2 Le cognitivisme

Le paradigme cognitiviste privilégie les relations entre l'esprit et l'ordinateur et repose essentiellement sur deux hypothèses fortes :

1. l'hypothèse symbolique : l'intelligence peut être décrite comme une suite d'opérations sur des structures symboliques, interprétables de façon propositionnelle;
2. l'hypothèse de la métaphore computationnelle : l'intelligence est séparable de son support physique.

L'idée dominante du cognitivisme est que l'esprit est un automaton. Les processus mentaux y sont vus comme des systèmes de traitement de l'information. Cette manipulation est une abstraction mathématique qui a la propriété suivante:

*«si quelque chose peut être élaboré par un calcul mathématique, dans le sens le plus général, il existe une machine de Turing qui peut faire chaque calcul particulier, et une machine de Turing générale qui peut les faire tous.»*¹⁷

¹⁷ GARNHAM, A., *The Mind in Action. A Personal View of Cognitive Science*, London, Routledge, 1991.

Si on peut séparer l'intelligence de son support qu'est le cerveau, on peut alors, au sens d'une machine de Turing, supposer que l'esprit fonctionne comme une machine. On parlera donc de computationalisme. Certains chercheurs tels Minsky¹⁸ et Konner¹⁹ prétendent que toutes les activités humaines sont non seulement reproductibles sous forme de règles encodables dans des logiciels, mais qu'il est également possible de construire des machines qui sentent, pensent et interagissent avec leur environnement. Le projet CYC²⁰, initié par Douglas Lenat²¹ en 1988 et repris par la société Cycorp Inc., prétend répertorier et traduire en langage informatique des règles décrivant plus de 400 000 événements quotidiens. Éventuellement, un robot qui serait relié à cette immense base de connaissances pourrait de son propre chef penser et interagir avec son environnement.

Le constat est le suivant: la métaphore computationnelle manipule des symboles, donc de la connaissance²², connaissance qui est ni plus ni moins une représentation symbolique du réel puisque l'on peut détacher l'intelligence de son support. Elle postule en fait que notre esprit n'a pas d'accès immédiat, direct et tangible au monde extérieur. Il ne travaille que sur des représentations internes de ce monde, ce monde étant composé d'un ensemble de structures symboliques finies. Le concepteur doit alors fournir au système des ensembles complets et consistants de règles. Par conséquent, le sujet est hors du contexte, il est un

¹⁸ MINSKY, M., *Society of Mind*, New York, Simon and Shuster, 1986.

¹⁹ KONNER, M., *On human Nature : Love Among the Robots*, The Sciences no. 27: 14-23, 1987.

²⁰ On trouvera une analyse et une critique intéressante de Deniz Yuret relativement au projet CYC à l'adresse Internet suivante: <http://www.ai.mit.edu/people/deniz/publications/cyc96/index.html>.

²¹ WHITTEN, D., *The Unofficial, Unauthorized Cyc Frequently Asked Questions Information Sheet*, <http://www.robotwisdom.com/ai/cycfaq.html#22>.

²² Descartes avait bien saisi l'essentiel du problème : «penser consiste à opérer sur de telles représentations».

sujet idéal. Il s'agit d'un être désincarné²³, déconnecté du monde, ne pouvant opérer que virtuellement, sans connexion avec son environnement, car il ne peut exister aucune adéquation avec le vécu puisque tout lui est donné *a priori*. Ce sont donc des systèmes contraints à fonctionner en boucle ouverte et exclusivement en environnement simulé et on parlera de cognition autonome. Tout récemment, dans cette perspective, Chomsky²⁴ a recalibré sa théorie en posant la question suivante: quel est l'état initial de l'esprit/cerveau qui spécifie une certaine classe de procédures génératives? Le psychologue Steven Pinker est allé encore plus loin en déclarant

*«que presque tout le monde dans les sciences cognitives partage l'idée que le cerveau est une sorte d'ordinateur neuronal produit par l'évolution et ceux qui ne le pensent pas sont flamboyants, mais peu nombreux et peu représentatifs.»*²⁵

En somme, c'est comme si notre comportement pouvait être réduit à un reflet de notre environnement duquel on pourrait dégager une modélisation ou représentation par le biais d'un système symbolique et qui nous permettrait éventuellement de dégager des analogies structurelles entre la fonction cognitive du sujet et celle qui se trouve simulée. Il s'agit alors d'une computation ou calcul symbolique.

En fait, le computationnalisme est ni plus ni moins que l'art de développer des modèles et des systèmes qui représentent, autant que faire se peut, l'activité intelligente humaine. Mais ces systèmes ont tous en commun une caractéristique bien particulière : ils sont instables et fragiles. Et c'est là leur talon d'Achille, pour la simple raison qu'ils sont

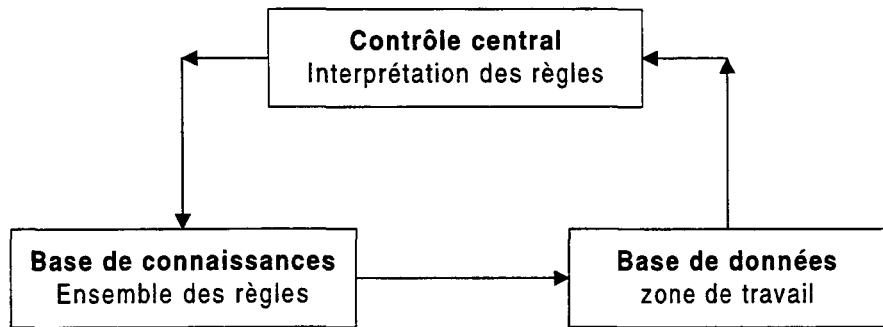
²³ Les linguistes auront ici reconnu le locuteur-auditeur idéal de Chomsky.

²⁴ CHOMSKY, N., *Language and the Cognitive Revolution*, Golem 2: 3-4, 1992.

²⁵ Wired, mars 1998

circonscrits à l'intérieur de systèmes de règles complets et complexes à la fois. Tout leur est donné d'avance. Ils ne possèdent pas la faculté d'être «éduqués» ou d'évoluer sans la présence d'un être humain. Ils doivent être alimentés avec de nouveaux jeux de règles pour s'ajuster à de nouvelles situations. Parfois, le seul fait d'inclure de nouvelles règles peut entraîner des effets imprévisibles sur les règles existantes. Une nouvelle règle de négation, si elle est couplée à une règle de négation déjà existante, pourrait entraîner la véracité d'une proposition alors qu'elle devrait toujours être négative. Les systèmes basés sur cette approche ont généralement une structure générique telle que représentée par le schéma suivant représentant un système cognitiviste.

Tableau #3 : Système cognitiviste classique



Le système est amorcé par une base de données globale. Il s'agit d'un ensemble de données factuelles qui déterminent l'état initial du système. En consultant cet ensemble de données factuelles, le contrôle central sélectionne une règle dans la base de connaissances. Si elle s'applique pour les données factuelles en cours, une modification est alors apportée dans l'état de la base de données globale pour refléter la nouvelle situation. Et le système poursuit ainsi jusqu'à ce qu'une condition lui signale de poursuivre ou non. Le contrôle

central perçoit son univers immédiat, à savoir sa base de données globale, comme un substrat factuel sur lequel il doit agir par le biais de règles pour produire un résultat. Par exemple, prenons un système de cette nature et qui devrait parvenir à la conclusion qu'une phrase P est la résultante de la présence d'un syntagme nominal et d'un syntagme verbal ($P \rightarrow SN + SV$).

- a. Le contrôle central voit dans sa base de données globale un substrat factuel, en l'occurrence la phrase «*le chat boit le lait*».
- b. Le contrôle central sait qu'il doit identifier chaque élément de la phrase. Il active la ou les règles appropriées situées dans la base de connaissances des règles.
- c. La base de données globale est modifiée au fur et à mesure que le contrôle central interprète les règles à être appliquées. Dans le cas présent, les différents états de la base de données globale se présenteront chronologiquement comme suit :

```

ART(Le) chat boit le lait
ART(Le) NOM(chat) boit le lait
ART(Le) NOM(chat) VERBE.boit) le lait
ART(Le) NOM(chat) VERBE.(boit) ART(le) lait
ART(Le) NOM(chat) VERBE.(boit) ART(le) NOM(lait)
SN(ART(Le) NOM(chat)) VERBE.(boit) ART(le) NOM(lait)
SN(ART(Le) NOM(chat)) SV(VERBE.(boit) SN(ART(le) NOM(lait)))
P → SN(ART(Le) NOM(chat)) SV(VERBE.(boit) SN(ART(le) NOM(lait)))

```

- d. Une fois que le contrôle central a pu fournir un état stable à la base de données globale, c'est-à-dire qu'un ensemble de règles a permis d'en arriver à une conclusion, alors le système s'arrête.
- e. Si le contrôle central n'a pu fournir un état stable à la base de données globale, c'est-à-dire qu'un ensemble de règles n'a pas permis d'en arriver à une conclusion, alors le système s'arrête.
- f. Une fois toutes les étapes complétées, le système fournit un output et peut confirmer ou infirmer que la phrase «*le chat boit le lait*» est une phrase valide d'un point de vue syntaxique, puisqu'elle est consistante ou non avec le système de règles.

Ce type de système est ni plus ni moins qu'une machine de traitement de symboles à la Turing. Il s'agit en fait d'un pur moteur syntaxique manipulant des symboles et effectuant une computation symbolique. Et il faut comprendre que pour le cognitivisme, le symbole

représente ce à quoi il correspond dans la réalité : c'est-à-dire qu'il équivaut à une catégorie sémantique donnée. Dans un tel cas, le calcul symbolique est forcément sémantique puisqu'il est lié à la syntaxe. Par extension, si on a une proposition formée d'une suite de symboles, laquelle suite est contrainte à une syntaxe bien précise, alors la proposition elle-même est le sens ou l'intention de la proposition²⁶. En fait, les modèles et les systèmes cognitivistes sont forcés de fonctionner en boucle ouverte et exclusivement dans des environnements simulés. Ce sont des modèles où tous les paramètres sont contrôlés. Par exemple, jouer aux échecs, poser des diagnostics médicaux à partir de symptômes, identifier des sites minéralogiques importants à partir de données géologiques, prévoir les fluctuations de la bourse en fonction de données économiques, générer des résumés de textes, traduire automatiquement des textes à partir d'ensemble consistants de règles syntaxiques, etc.

2.3 Le connexionisme

Le paradigme connexioniste privilégie quant à lui les relations entre le cerveau et l'ordinateur. Il cherche à mimer, tant du côté logiciel que machine, les fonctions et la structure du cerveau. Ici, il ne s'agit pas de définir le monde selon des propriété mais bien plutôt de laisser libre à lui-même un système immergé dans son environnement. Par le biais de boucles de perception-action, logique à la base même du système neuronal, le système est en mesure d'apprendre, de s'ajuster et d'évoluer. Il n'y a donc pas ici manipulation de symboles par des règles logiques. Il s'agit plutôt d'une propriété émergente à la suite d'une

²⁶ On rejoint ici les travaux de Searle, Austin, Montague et Lewis sur l'intentionnalité.

série d'interactions. On brise alors la linéarité proposée par la computation symbolique. Dans ce type de système complexe d'où les propriétés émergent, la linéarité est totalement brisée et il n'est nul besoin d'un contrôle central pour coordonner l'ensemble de cette dynamique. Le monde n'est donc pas caractérisé par des attributs mais par des potentialités.

Ce sont Warren McCulloch et Walter Pitts qui, en 1943, initièrent vraiment l'approche connexioniste. Ils se fixèrent comme objectif d'expliquer les rouages du cerveau humain. Pour ce faire, ils tentèrent de démontrer que, de l'activité d'un réseau de cellules hautement interconnectées et en rétroaction, pouvaient émerger des opérations logiques. Ils établirent ainsi la *théorie des réseaux neuronaux artificiels*. Plus tard, les travaux de McClelland²⁷, Hinton²⁸ et Rumelhart²⁹ permirent de démontrer que le connexionisme n'opère pas sur des connaissances³⁰ : il se base surtout sur la perception immédiate de l'environnement. Ce qui importe ici c'est le contexte. Toute perception de l'environnement vise à une finalité, aussi bien celle d'une intention que d'un objectif³¹. Les travaux qui s'inscrivent dans ce paradigme abordent essentiellement des problèmes de structuration et d'évolution d'architectures de contrôle de systèmes. Et qui plus est, elle permet d'offrir certaines

²⁷ McCLELLAND, J.L., *Explorations in Parallel Distributed Processing*, vol. 2, Cambridge, Mass., MIT Press, 1988.

²⁸ HINTON, G.E., *Learning Distributed Representation of Concepts*, in Proceedings of the Eight Annual Meeting of the Cognitive Science Society, Hillsdale, N.J., 1986.

²⁹ RUMELHART, D.E., McCLELLAND, J.L., et al., *Explorations in Parallel Distributed Processing*, vol. 1, Cambridge, Mass., MIT Press, 1986.

³⁰ Le processus se situe à un niveau sub-symbolique. La cognition est le résultat de l'activité d'un ensemble de neurones.

³¹ Et de fait, la pragmatique, en réaction au cognitivisme, tente de réintégrer le sujet, le contexte et l'intentionnalité.

explications aux facultés cognitives, comme la reconnaissance rapide, la mémoire associative et la généralisation catégorielle.

L'idée de base du connexionisme est que l'intelligence émerge de l'interaction entre plusieurs processus simples. Fondamentalement, un modèle connexioniste est un modèle mathématique ou informatique basé sur la structure des systèmes nerveux biologiques. Les éléments de base des réseaux neuronaux artificiels imitent ceux des systèmes biologiques. Par exemple, on pourrait concevoir un système en mesure de faire de la reconnaissance optique de caractères. L'intérêt d'un tel système ne réside pas dans la technicalité de l'ensemble des processus de reconnaissance, mais sur le fait qu'il est capable, à partir d'informations relativement incomplètes, d'arriver à une conclusion probante. Cette conclusion n'est pas le fait d'une analyse à partir d'un système de règles comme dans les modèles cognitivistes. Il n'y a aucun processus qui ressemble de près ou de loin à des opérations syntaxiques traitant des symboles. Et c'est là que se différencie le cognitivisme du connexionisme. Le cognitivisme effectue des computations symboliques tandis que le connexionisme se résume à une question de représentation. *Once a problem is described using an appropriate representation, the problem is almost solved.*³² La représentation, quant à elle, peut s'articuler sur trois plans :

1. représentation locale. Une unité représente un objet, un concept ou une hypothèse. Une correspondance univoque existe entre chaque unité du réseau et les éléments à représenter. Donc, avec N unités, il est possible de représenter N objets; la possibilité de représentation croît en fonction du nombre d'unités disponibles;

³² RUMELHART, D.E., McCLELLAND, J.L., et al., *Explorations in Parallel Distributed Processing*, vol. 1, Cambridge, Mass., MIT Press, 1986, p.121.

2. représentation distribuée. Chaque unité peut être partie prenante à la représentation de plusieurs éléments et, inversement, chaque élément est représenté par un schéma d'activités portant sur plusieurs unités différentes. Donc, il est possible de pouvoir représenter autant d'éléments qu'il y a de sous-ensembles d'unités;
3. représentation par traits caractéristiques. Chaque élément est représenté de façon distributive par schéma d'activités sur des ensemble d'unités, et les unités individuelles représentent localement les caractéristiques de l'élément donné. Les représentations par caractéristiques peuvent être pré-programmées ou peuvent émerger sans interaction humaine. Par exemple, supposons que l'on veuille enseigner à un réseau neuronal la notion de politicien : à la base vous avez représenté le fait que les ministres et les députés font des promesses qu'ils ne tiennent pas. Si ministres et députés sont déjà représentés par des caractéristiques spécifiques, alors certaines de celles-ci peuvent être partagées par les deux tandis que d'autres ne le seront pas. Alors, si vous demandez au réseau si les politiciens font des promesses qu'ils ne tiennent pas, celui-ci vous répondra probablement par oui, sur la base de ce qu'il sait à propos des ministres et des députés et sur la similarité de leurs caractéristiques.

Voilà pourquoi le connexionisme prétend que la cognition émerge au niveau du système global et non au niveau de ses parties. Le résultat de ce processus, la cognition, est plus grande que la somme de tous les processus. Il y a cinq raisons à cela qui sont toutes à l'inverse d'un système cognitiviste:

- a. pas de contrôle central
- b. le contrôle est distribué
- c. toutes les décisions sont prises à un niveau local
- d. à tout input donné, un output est fourni : il peut être vrai, faux ou probable.
- e. en cas de difficulté à solutionner un problème, le système se dégrade en douceur.

Ici, le sujet n'est plus un être désincarné et déconnecté de son environnement. Il devient un être incarné et en devenir ; il est définitivement plongé dans un environnement réel où il fonctionne en boucle fermée, ce qui lui permet de maintenir une relation directe et continue

avec cet environnement. On parlera alors de cognition incarnée à l'inverse du computationnalisme où il s'agit d'une cognition autonome. Donal Hebb, de l'Université McGill, dès 1949, avait déjà entrevu que les schémas de connexions neuronales évoluaient en fonction de ce que l'on apprend au fil du temps. Il supposait que le renforcement par l'activation répétée d'un synapse tendait à établir des connexions neuronales plus aptes à traiter tel ou tel type d'information. Sur cette base, et celle de ses collègues, les réseaux neuronaux artificiels prirent d'assaut les marchés commerciaux au cours des années 80. Les systèmes de reconnaissance de la parole, les systèmes de synthèse de la parole et les réseaux sémantiques en sont un bon exemple. Les systèmes de reconnaissance de la parole font appel aux réseaux neuronaux. Les systèmes de dictée automatique d'IBM fonctionnent aussi à l'intérieur de ce paradigme et ce, à deux niveaux : le premier pour la reconnaissance de la parole et le second pour soulever les ambiguïtés lexicales, c'est-à-dire pour opérer un choix dans un réseau sémantique³³ afin de choisir le mot le plus approprié en fonction du contexte. Les résultats sont relativement intéressants mais introduisent parfois des erreurs.

2.4 Le constructivisme

L'argument cognitiviste nous dit que l'activité mentale correspond à une computation symbolique et que la sémantique est liée à la syntaxe. L'argument connexioniste par contre, nous renseigne sur le fait que l'activité mentale correspond à des opérations

³³ D'un autre côté, les travaux de compréhension automatique des textes relevant de ce paradigme sont intéressants : la technologie Aladin du groupe LANCI, à l'Université du Québec à Montréal, semble indiquer des pistes intéressantes. (MEUNIER, J.G., *Aladin et le traitement connexioniste de l'analyse terminologique*, Proceedings of Computer-assisted Information Searching on Internet – RIAO-97, Paris, Centre de Hautes Études Internationales d'Informatique Documentaire, 1997, pp. 661-664.)

numériques et non symboliques. «*Les éléments significatifs ne sont pas des symboles mais plutôt des schémas complexes d'activités entre les multiples éléments qui constituent le réseau»*³⁴. Au contraire de l'approche symbolique, le sens n'est pas contenu dans le symbole : «*il est fonction de l'état global du système et reste lié à l'activité générale dans un domaine donné comme la reconnaissance ou l'apprentissage.*»³⁵ Le cognitivisme nous parle de cognition autonome tandis que le connexionisme nous parle de cognition incarnée. Mais les deux positions ont chacune leur faille. L'évolution du système neuronal tel que nous le connaissons aujourd'hui a mis plus de 1,5 milliard d'années à se développer et pendant tout ce temps nous n'avons eu sur la planète que des animaux sans capacité réflexive. Faut-il ajouter que ce n'est que bien récemment, à l'échelle de l'évolution, que l'activité symbolique a fait son apparition. Les cognitivistes voudraient alors, bien que ce fut un long et lent processus évolutif, nous soumettre l'idée que l'activité symbolique est entièrement autonome et que nul support biologique n'est nécessaire. D'un autre côté, les connexionnistes tentent de nous proposer une cognition entièrement incarnée qui émergerait de l'activité de nos circuits neuronaux. Si tel est le cas, que sont alors les symboles et qu'est-ce que cette capacité à symboliser? Car on ne peut le nier, l'être humain symbolise, tout comme on ne peut nier le fait que la cognition s'appuie sur un complexe système neuronal. En fait, les deux paradigmes ne nous présentent chacun qu'une seule facette de la médaille. Peut-on réconcilier cette dichotomie pour n'obtenir qu'une seule vision des choses? Pourrait-on envisager que le processus connexioniste, l'émergence, ne serait finalement qu'une représentation sub-symbolique nécessaire à la constitution du

³⁴ VARELA, F.J., *Invitation aux sciences cognitives*, coll. Sciences-Points, Paris, Seuil, 1989, p.78.

³⁵ Ibid., p.79.

symbolique? Le symbole ne serait-il pas justement ce phénomène de compression algorithmique, un genre de macro-description approximative d'un ensemble d'opérations connexionnistes? Si cette affirmation se vérifie, c'est que le symbole est intimement lié au réseau neuronal duquel il provient et dépend aussi de l'historique de la constitution de ce même réseau neuronal. Toutes les activités symboliques complexes telles que le calcul, l'écriture, le langage et bien d'autres ne sont réalisées qu'à travers des structures neuronales biologiques complexes. Personne, pour le moment, n'a rencontré un être non incarné capable d'activités symboliques. Et les faits nous démontrent que, au cours de l'évolution, seules les entités biologiques dotées de structures cérébrales complexes ont pu organiser leur vie sociale en fonction de leur environnement. Ce qu'on peut légitimement poser comme hypothèse, c'est que toute activité de cognition n'est pas entièrement une computation symbolique ni entièrement un travail neuronal sur une représentation. Le constructivisme offre peut-être une alternative : il s'agit, pour s'ajuster à l'environnement, d'un processus de sélection, d'extraction des connaissances et d'adéquations par une montée en abstraction de la cognition. On assiste, dans ces conditions, à une autonomie incrémentale.

La position constructiviste consiste à soutenir que

«notre connaissance ne reflète pas une réalité ontologique du monde, qui serait quelque part objective et qu'on atteindrait ou pas, mais que cette connaissance va se fonder sur la mise en ordre et l'organisation d'un monde qui est celui que constituent nos expériences individuelles et nos savoirs collectifs. En somme, le constructivisme considère tout objet de pensée comme construit.»³⁶

³⁶ VIGNAUX, G., *Le discours acteur du monde*, Paris, Ophrys, 1998, p.170.

Ceci implique qu'aucune connaissance n'est donnée *a priori*. Toute connaissance doit être extraite de son interaction avec l'environnement. Elle est acquise de façon incrémentale et structurée par et avec le vécu. Elle est donc forcément adaptée en fonction du contexte. Par contre, une connaissance acquise peut tout aussi bien être remise en cause et modifiée par de constants processus de structuration et de déstructuration. Le monde est trop riche, beaucoup trop complexe pour qu'un organisme puisse en avoir une représentation préalable d'une quelconque utilité. Il doit se construire une représentation du monde, un monde qui, il faut bien l'admettre, est plein d'inattendus. Ce processus de construction est ce que l'on nomme une montée en abstraction. Pour mieux saisir en quoi cette montée en abstraction consiste, prenons l'exemple de l'ordinateur. Pour construire une telle machine, il faut disposer d'un vaste réservoir de connaissances qu'un seul homme ne saurait posséder. Il nous faut alors faire appel à des spécialistes de différentes disciplines et techniques.

1. **La strate physique.** Afin de concevoir un microprocesseur fait de silicium, on fera appel à des spécialistes de la physique des solides. Ils nous indiqueront comment la matière se comporte dans telles ou telles conditions.
2. **La strate électronique.** Une fois que nous aurons compris les propriétés de la matière, on fera appel à des gens possédant les compétences nécessaires pour concevoir des composants électroniques miniaturisés tels que les transistors, les diodes et les semi-conducteurs à partir du silicium.
3. **La strate logique.** Disposant des éléments de bases, il nous faudra les agencer de telle façon que l'on puisse permettre entre eux des transferts de flux électriques. C'est ce que l'on nomme les portes logiques. Lorsqu'il y a absence de courant, la représentation est un 0 et lorsqu'il y a présence de courant la représentation est un 1.
4. **La strate machine.** Les portes logiques étant disponibles, il nous suffira de les agencer pour obtenir des microprocesseurs, des mémoires, des calculateurs, etc.

5. **La strate d'assemblage.** Pour que toutes les unités puissent communiquer entre elles, on devra mettre au point un langage dit d'assemblage. Celui-ci permettra de donner des instructions à la machine pour effectuer différents types d'opérations entre les différents types de composantes.
6. **La strate symbolique.** Afin de s'affranchir des particularités d'un processeur conçu par telle ou telle compagnie, on concevra des langages formels ou de programmation tels les BASIC, C, FORTRAN, Pascal, Prolog etc. Ces derniers auront l'avantage de nous permettre de programmer les ordinateurs sans que nous n'ayons besoin de connaître les particularités d'assemblage du microprocesseur.

Cette progression de strate en strate est ce que l'on nomme une montée en abstraction.

C'est-à-dire que l'on devient de plus en plus indépendant du substrat de base. Par exemple, la clé de contact servant à démarrer une voiture représente l'abstraction ultime de tout ce qu'elle sous-tend. Pour conduire une voiture, il n'est absolument pas nécessaire de connaître tout ce qui préside à sa mise en œuvre.

Il en va donc de même pour la symbolisation ou le langage ou d'autres fonctions mentales supérieures. De l'influx sensori-moteur à sa mise en œuvre neuronale jusqu'à l'émergence de données subsymboliques pour aboutir à la faculté de symboliser ou éventuellement à la connaissance, il y a montée en abstraction; le symbole représente beaucoup plus que la somme de toutes ces parties. Et c'est justement cette montée en abstraction qui permet de s'ajuster, de réagir, de se structurer en fonction de l'inattendu du monde.

Autant notre univers environnant est celui de l'inattendu, autant le monde de la machine, celui de la simulation, est celui de l'attendu. Ce seul point, pensons-nous, milite en faveur du concept de la construction où tout objet de pensée se construit, s'adapte, sélectionne, organise. Nos machines ne peuvent en aucune façon réagir à l'inattendu du monde et il va sans dire qu'elles ne peuvent procéder par une acquisition incrémentale structurée par et avec le vécu observé du langage, à tout le moins dans l'état actuel des connaissances et des technologies. Pas plus que l'on ne peut fonder un modèle sur les capacités non objectives de la machine. Il ne reste plus alors que la possibilité d'une adaptation, où une connaissance acquise peut-être remise en cause et modifiée par le biais de processus de structuration. Cette hypothèse est d'ailleurs déjà étayée par une multitude de travaux relevant du paradigme connexioniste. Les recherches de Amit³⁷ portant sur les réseaux de neurones artificiels, les travaux de Weisbuch³⁸ sur les automates cellulaires, et surtout les études approfondies de Holland³⁹ sur les algorithmes d'apprentissage ou d'optimisation des algorithmes génétiques nous démontrent la possibilité de concevoir des systèmes possédant des capacités d'évolution à travers une adaptation.

On le voit bien, les sciences cognitives nous offrent différentes pistes d'exploration. Avec celles-ci la connaissance est devenue objet d'étude. Un objet qui tente de donner à la connaissance un fondement scientifique, formel et empirique. Pour comprendre comment le

³⁷ AMIT, D.J., *Modeling Brain Function, The world of attractor neural networks*, Cambridge, Cambridge University Press, 1989.

³⁸ WEISBUCH, G., *Dynamique des systèmes complexes, une introduction aux réseaux d'automates*, Paris, InterEditions/Editions du CNRS, 1989.

³⁹ HOLLAND, J.H., HOLYOAK, K.J., *Induction, Processes of Inference, Learning and Discovery*, Cambridge, Mass., MIT Press, 1987.

langage est ce mécanisme apte à manifester et transmettre les symboles produit par une mécanique neuronale complexe, laquelle mécanique est constamment immergée dans un environnement contextuel en constante évolution et plein d'inattendus, nous commencerons par voir comment se comporte le cerveau pour finalement déboucher sur une approche constructiviste du langage lui-même.

PARTIE II

Problématique

Chapitre 3

Cartes neuronales et processus opératoires

3.1 Introduction

Le philosophe grec Aristote affirmait qu'aucun esprit surnaturel, aucune conscience désincarnée ne pouvait être à l'œuvre dans la nature et être maître des événements. Il partait du principe que l'âme n'est pas une entité distincte du corps car l'un et l'autre ne font qu'un. C'est ce que l'on nomme la position moniste. À l'opposé, Platon considérait que l'esprit et le corps ne peuvent être envisagés comme des états différents d'un même substrat; ils sont plutôt des aspects différents d'un organisme complexe, organisme d'autre part unique. C'est ce que l'on nomme la position dualiste. Mais, aussi curieux que cela puisse paraître, Aristote n'a jamais avancé l'idée que le cerveau pouvait être le centre de la conscience. Il pensait plutôt qu'il s'agissait du cœur et affirmait même que le cerveau avait pour rôle immédiat de refroidir le sang. Par contre, Platon, Diogène et Démocrite avaient, quant à eux, reconnu la primauté du cerveau comme support à l'âme. Et le dualisme corps/esprit, si cher à la pensée occidentale, prit forme. Le christianisme en a d'ailleurs fait son cheval de bataille. Beaucoup plus tard, l'une des figures européennes dominantes du XVII^e siècle, René Descartes, avança une position dualiste assez particulière : il considérait que seul l'homme possédait un esprit et que les animaux étaient de simples automates. Ce

fut d'ailleurs un débat qui eut des échos jusque chez Russell mais qui dut attendre pour être appuyé par les travaux des premiers neurologues au tournant du XIX^e siècle.

3.2 La plasticité du cerveau

Les travaux de Millner¹ sur la spécialisation des hémisphères du cerveau ont permis de constater que si on enlève entièrement l'aire de Wernicke à un très jeune enfant, l'autre hémisphère prend alors en charge la fonction du langage.

«Les lésions de l'hémisphère droit, où qu'elles se situent, n'entraînent pas de graves perturbations du langage. Chez à peu près 5% des êtres humains, la latéralisation du langage est inversée et les aires de Wernicke et Broca se trouvent du côté droit.»²

Eccles³ nous propose à la fois une piste intéressante et un élément de réponse aux questions que nous nous posons.

«Normalement, l'hémisphère gauche acquiert petit à petit une prépondérance en ce qui concerne le langage, tant pour l'interprétation que pour la production : on peut supposer qu'il dispose d'un meilleur équipement neurologique. Pendant ce temps, l'hémisphère droit (ou, dans le cas d'inversion, le gauche) régresse dans le domaine de la production du langage, mais conserve une certaine compétence dans la compréhension.»⁴

D'un autre côté, les travaux de Creutzfeld⁵ ont mis en évidence que, peu importe la nature de l'activité linguistique, celle-ci se trouve répartie sur l'ensemble des aires dédiées au

¹ MILLNER, B., *Hemispheric Specialization : its scope and limits*, in F.O. Schmitt and Worden, F.G. (eds) *The Neurosciences*, 3rd Study Program, Cambridge, Mass., MIT Press, 1974.

² ECCLES J., *Évolution du cerveau et création de la conscience*, coll. Champs, Paris, Flammarion, 1994, p.112.

³ Eccles, Sir John, physiologiste australien et prix Nobel de Physiologie ou Médecine en 1963 pour son travail sur le fonctionnement des impulsions nerveuses.

⁴ ECCLES, J., *Évolution du cerveau et création de la conscience*, coll. Champs, Paris, Flammarion, 1994, p.112.

⁵ CREUTZFELD, O.D., *Inevitable deadlocks of the brain-mind discussion*, in B. Guylas (ed.) *The Brain-Mind Problem*, Assen/Maastricht : Leuven University Press, van Gorcum, 1987, pp.3-27.

langage. Edelman⁶, biochimiste, a pu, quant à lui, démontrer que cette plasticité du cerveau se fonde sur trois hypothèses⁷ :

1. Au cours du développement cérébral de l'embryon, un schéma de connexions extrêmement variable et individualisé se forme entre les cellules du cerveau (neurones);
2. après la naissance, un schéma de connexions neuronales apparaît pour chaque individu, mais en réponse aux stimulations sensorielles reçues par le cerveau, certaines combinaisons de connexions sont sélectionnées plutôt que d'autres;
3. cette sélection surviendrait plus spécifiquement au niveau de groupes de neurones reliés en couches, ou cartes, et ces cartes dialogueraient entre elles afin de constituer des catégories de choses et d'événements.

Ces trois hypothèses, point essentiel de la discussion de Gerald Edelman, en amène une autre d'un tout autre ordre: *aucun langage n'est nécessaire pour l'émergence de concepts*. En fait, les concepts correspondent à cette capacité que possède le cerveau de constituer des généralisations à partir de corrélations. Edelman cite par ailleurs l'exemple des chimpanzés capables d'acquérir et manipuler des concepts sans qu'il soit nécessaire de faire appel à un quelconque support linguistique, ce qui tendrait à démontrer que le sens est antérieur à toute forme de syntaxe. Il s'agit, pour le cerveau, d'un processus récursif de sélection et de renforcement de cartes neuronales qui permet de construire une cartographie de celles-ci et de catégoriser ses propres activités.

⁶ Edelman, Gerald, biochimiste américain, prix Nobel de Physiologie ou Médecine en 1972, et père du Neural Darwinism avec sa théorie de la sélection des groupes neuronaux.

⁷ EDELMAN, G., *Neural Darwinism : the Theory of Neuronal Group Selection*, New York, Basic Books, 1987.

Ce qu'on peut déduire des observations précédentes, c'est que le cerveau est le produit d'une évolution, et qui dit évolution dit sélection. Par conséquent, le cerveau serait ni plus ni moins qu'un système sélectif, un mécanisme de compression algorithmique. Il n'y a pas, *a priori*, de raisons de penser que la sélection ne puisse pas jouer à tous les niveaux, du génétique au biologique, jusqu'au symbolique. En fait, l'apprentissage, l'adéquation à l'environnement ne serait qu'une forme de sélection. Posons-nous cette simple question : si chaque différenciation neuronale était complètement déterminée par les gènes, que se passerait-il ? On obtiendrait un système informatique où une seule instruction mal placée peut avoir des conséquences désastreuses. C'est la même chose au niveau génétique. Il est évident que si cette plasticité du système biologique n'existe pas, il serait impossible aux organismes vivants de s'adapter à un environnement imprévisible.

«Il est clair que c'est la sélection agissant sur les individus qui a eu la plus grande part dans le modelage de cette organisation. [...] Mais le résultat dans les deux cas est que les gènes sont actuellement façonnés de telle sorte que des modifications ultérieures conduisant à des changements adaptatifs peuvent survenir facilement. Ces gènes peuvent maintenant jouer un rôle important dans la facilitation d'une évolution ultérieure.»⁸

On constate à quel point ce phénomène de l'adaptation joue un rôle important et on constate qu'il agit non seulement au niveau génétique, mais à tous les niveaux de notre structure en tant qu'organisme vivant. Le cerveau, comme tout le reste, n'est pas séparé du corps ; il en est une structure hautement intégrée et ses composantes principales, les cellules nerveuses, se comportent comme plusieurs autres cellules du corps. C'est donc cette plasticité à tous les niveaux qui nous renseigne sur le fait qu'il y a solution de continuité

⁸ WILLS, C., *La sagesse des gènes*, coll. Champs, Paris, Seuil, 1991, p.169.

depuis le génétique en passant par le biologique jusqu'au symbolique et que rien n'est séparé. Et cette plasticité culmine avec le développement de circuits neuronaux complexes.

Les travaux de Gérald Edelman nous offrent une perspective intéressante sur le fonctionnement d'un neurone : il

«dépend autant de l'endroit où il se trouve au moment où la différenciation commence que des positions qu'il occupait auparavant. Ses formes et ses mouvements varieront inévitablement d'un individu à l'autre, ce qui rend la position à un moment donné⁹ impossible à prévoir exactement. Les mécanismes génétiques qui déterminent le devenir d'une cellule doivent d'une manière ou d'une autre être sensibles à l'emplacement qu'elle occupe à tel ou tel instant.»¹⁰

Pour ces simples raisons, il est impossible d'affirmer que deux cerveaux soient identiques. Car, si on affirme que le cerveau possède des zones modulaires spécialisées, alors deux cerveaux sont identiques dans leur structure neuronale.

«Du fait de la relation existant entre développement, structure et fonction, il ne serait pas surprenant que dans le cerveau, les activités fonctionnelles d'un groupe de cellules connectées soient dépendantes à la fois des activités des groupes cellulaires voisins et du passé du groupe lui-même.»¹¹

On peut ici tirer une première conclusion : le contexte et le développement façonnent la structure du cerveau. En fait, il n'y a rien dans le cerveau qui puisse correspondre à une mémoire d'ordinateur où seraient emmagasinées des informations

«puisque les activités adjacentes changerait inévitablement, le contexte d'un groupe neuronal, quel qu'il soit, est perpétuellement soumis à des variations. Si on admet qu'un souvenir est en effet emmagasiné de la même manière qu'une mémoire d'ordinateur, modifier ce processus le détruirait irréversiblement.»¹²

⁹ Ce qui correspond à l'état initial d'un système chaotique. Nous reviendrons d'ailleurs plus en profondeur sur cet aspect à la partie 7.

¹⁰ ROSENFIELD, I., *L'invention de la mémoire*, coll. Champs, Paris, Flammarion, 1994, p.183.

¹¹ Ibid., p.187.

¹² Ibid., p.188.

Le passé, au niveau neuronal, est identifiable; il est mis en évidence par la forme des cartes neuronales et dans l'anatomie et la physiologie des relations qu'entretiennent entre elles les neurones. En ce sens, ces cartes possèdent une dimension temporelle; elles ont une histoire, une chronologie qui leur est propre. Et c'est cette chronologie qui, selon la nature de l'influx nerveux qui parcourt ces réseaux, sert de métronome, un peu comme l'horloge d'un ordinateur qui régularise la quantité des informations transmises entre les différentes composantes.

Les neurones ont une structure arborescente qui se propage et se ramifie dans toutes les directions selon des schémas tout à fait imprévisibles. Leur mode de fonctionnement, leurs interactions avec d'autres neurones, n'ont rien à voir avec celles des différentes composantes d'un ordinateur. Il faudrait plutôt s'imaginer la chose comme un vaste agrégat de tous les événements qui peuvent intervenir dans une société et entrer en interaction les uns avec les autres. Le cerveau possède de grandes quantités de cartes neuronales interagissant les unes avec les autres. Et ce qui est le plus intéressant, c'est qu'il n'y a aucun système de supervision ou de contrôle central pour régir cette interaction. À plus forte raison il faut admettre que les substrats de la cognition résident dans le parallélisme des systèmes modulaires de traitement de l'information du cerveau. Edelman avait entrevu ces choses bien avant les travaux de Goldman-Rakic. Voici d'ailleurs les cinq idées de base relatives à la théorie de la sélection des groupes neuronaux.

1. Il est mathématiquement impensable que le génome humain puisse contenir toute la complexité de la circuitrerie neuronale d'un cerveau humain. Les connections synaptiques qui évoluent dans le cerveau au cours du temps sont la complexe résultante à la fois du génotype, de processus biochimiques et des constantes interactions de l'organisme avec l'environnement. Chose certaine, la structure d'ensemble du cerveau et certains grands circuits neuronaux sont établis par nos gènes et certaines régions spécifiques ont des fonctions particulières. C'est l'aspect *hard* de la chose. Mais le câblage neuronal est plastique; il évolue, s'adapte et se modifie. C'est l'aspect *soft* de la chose. Notre faculté d'adaptation est justement l'osmose qui existe entre l'architecture d'ensemble du cerveau et le développement de connections neuronales non prévues et non déterminées à un niveau microstructurel.
2. Chaque cerveau se différencie par rapport à d'autres cerveaux en fonction de l'extrême diversité structurelle des réseaux neuronaux; ce sont ces formidables capacités interconnectives qui sont à la base de l'émergence de la conscience et de l'activité pensante. Mais la perception de soi par rapport à celle de l'environnement immédiat est aussi fonction des organes perceptifs disponibles et des influx sensoriels qu'ils acheminent au cerveau. Chaque espèce, à la fois par le biais de l'ensemble structurel de son cerveau, de la plasticité de son développement neuronal, de ses organes disponibles et de ses interactions avec l'environnement, se crée sa propre perception de soi par rapport à l'univers. L'univers d'un macaque diffère de celui d'un humain, cela tombe sous le sens. Mais l'univers d'un humain est également différent de l'univers d'un autre humain.
3. Des groupes neuronaux sont sélectionnés en fonction du contexte. Ils sont par la suite intégrés dans des schémas d'activité de réponse. Même si certains groupes neuronaux sont génétiquement dédiés au traitement de certains influx sensoriels (i.e. vision, audition), le travail d'ensemble du traitement de l'information n'est pas assigné à l'avance par un système de règles grammaticales ou une grammaire universelle tel que l'envisageait le linguiste Chomsky. Le cerveau est un vaste territoire grossièrement délimité par l'évolution et possédant tout l'espace nécessaire pour son développement. La sélection est donc fondamentale en ce sens que l'environnement y joue un rôle de premier plan et détermine les groupes neuronaux qui seront activés pour telle ou telle tâche.
4. Le réseau neuronal emmagasine des représentations de l'univers mais non pas au sens de celle des fichiers informatiques. Il retient ces représentations de l'univers comme des dispositions à réactiver, dispositions inscrites dans des schémas d'activité de réponse distribués et sélectionnés lors d'expériences antérieures. Un stimulus n'a pas besoin d'être identique à un stimulus antérieur pour activer un groupe neuronal spécifique. S'il devait être identique, le

processus ne serait d'aucune utilité dans un environnement aussi fluide et changeant que le nôtre. La reconnaissance n'implique nullement un stockage permanent de toutes les propriétés d'une information.

5. Il y a différentes raisons pour lesquelles un système neuronal fonctionnant selon des principes de sélection ontogénique¹³ en opposition à une sélection phylogénique¹⁴ soit si fluide :

- a. il peut obtenir, retenir, réviser et abandonner toutes sortes de pensées, idées, désirs et intentions au cours d'une vie;
- b. le système neuronal peut perdre certains neurones suite à un traumatisme crânien, à un accident cérébro-vasculaire et pourtant récupérer certaines fonctionnalités en intégrant d'autres neurones qui avaient jusque là d'autres assignations. Par contre, dans le cas d'une maladie dégénérative comme l'Alzheimer, la destruction de groupes neuronaux entiers conduit à une incapacité neuronale croissante.
- c. Le destin d'un neurone n'est pas fixé. Il peut varier en tout temps sous la pression des interactions avec l'environnement. Le contexte joue donc un rôle essentiel pour la détermination du comportement à la fois d'un neurone et d'un groupe neuronal.

Le linguiste américain Noam Chomsky avance l'hypothèse que l'évolution nous a dotés d'organes mentaux génétiquement organisés et déterminés. Le langage serait un de ces organes déterminés possédant un système de règles commun à tous les êtres humains, une grammaire universelle qui permettrait de comprendre toutes les langues. En fait, Chomsky affirme que la capacité linguistique ne peut pas provenir de données issues de l'expérience au même titre que le système visuel, base du traitement et de la reconnaissance des formes, ne peut provenir de l'expérience. Si tel est le cas, c'est que notre cerveau trie adéquatement toutes les informations en provenance de l'environnement. C'est donc que nos perceptions ne sont pas le fruit d'un processus opératoire à partir de stimuli ambigus et qu'il nous

¹³ Au niveau d'un individu.

faudrait supposer l'existence d'un centre lexical dans le cerveau. On pourrait peut-être même penser que, s'il existe des règles innées pour le langage, il doit en exister pour une multitude d'autres fonctions mentales. On pourrait peut-être aussi faire le constat que, dans la littérature scientifique, personne n'a jamais parlé d'une zone du calcul qui est pourtant, tout autant que le langage, une activité hautement symbolique et propre à l'être humain. Si nous poussions ce raisonnement jusqu'à l'absurde, on pourrait supposer qu'il doit y avoir, dans le cerveau, une zone dédiée à la fabrication matérielle des choses, laquelle zone serait soutenue par un système de règles propre à tous les êtres humains, un genre de grammaire universelle de la fabrication. Les choses ne sont peut-être pas aussi simples que nous le décrivons ici, mais elles méritent que nous y portions une certaine attention.

Si nous acceptons cette position, c'est que les choses sont déterminées à l'avance. Mais qui dit déterminé dit aussi système fermé et clos. Si les fonctions cérébrales sont déterminées, c'est-à-dire fonctionnant selon des systèmes de règles, un problème se pose systématiquement pour le traitement de l'image : il est impossible que le cerveau puisse contenir et emmagasiner toutes les images reçues au cours d'une vie. Car, si tel était le cas, le cerveau posséderait des zones de stockage de l'information tout comme dans un ordinateur et le système de règles du traitement de l'image n'aurait qu'à puiser dans ces zones mémorielles pour ramener à la conscience des images et séquences filmées du passé. Le cerveau ne nous restitue heureusement pas des séquences filmées comme nous y a habitué Hollywood. D'ailleurs, toutes les recherches à ce jour pour réussir à identifier des

¹⁴ Au niveau de l'espèce.

molécules à mémoire dans des régions spécifiques du cerveau ont échoué. C'est peut-être qu'il n'existe rien de tel. Car, autrement, c'est que nous serions confrontés encore une fois à un problème déterministe. En fait, notre faculté mnémonique n'a peut-être justement rien à voir avec l'évocation d'une image stockée dans une molécule à mémoire ou une zone du cerveau. La mémoire, tout comme la conscience, la pensée et le langage sont des processus opératoires.

«L'activité cérébrale dans son ensemble (créations de cartes et réintroductions) représente l'information. Il n'y a pas de répartition des tâches en formation de phonèmes et formation de mots. Les diverses abstractions créées par de multiples cartes interconnectées sont à l'origine de ce qui passe pour des unités fonctionnelles spécialisées (modules).»¹⁵ «En effet, le cerveau doit attribuer une signification aux stimuli sensoriels, et sa façon de le faire dépend de plusieurs facteurs issus de l'environnement. Pour y parvenir, il utilise par conséquent la sélection de groupes neuronaux. Il n'est pas possible de prévoir quel sera le degré de pertinence des stimuli en cas de variation du milieu.»¹⁶

Il nous faut maintenant, à la lumière de ce que nous avons exposé, définir ce que sont ces processus opératoires qui permettent de passer de l'influx sensoriel à l'émergence d'une charge sub-symbolique pour mener finalement à la génération d'un symbole.

¹⁵ ROSENFIELD, I., *L'invention de la mémoire*, coll. Champs, Paris, Flammarion, 1994, p.200.

¹⁶ Ibid., p. 203.

Chapitre 4

Les processus opératoires

4.1 Introduction

Théoriser est une chose et vérifier la théorie en est une autre. L'imagerie cérébrale¹ nous offre des perspectives intéressantes et en ce sens, elle nous donne à voir ce que nous élaborons, théoriquement parlant. Dans l'édition du 4 octobre 1997 du journal *Science*², Marcel Adam Just, Patricia Carpenter et leurs collègues au Carnegie Mellon University, ont démontré que plus une phrase est complexe, plus le cerveau utilise de cartes neuronales pour en comprendre le sens. Pour ce faire, ils ont présenté trois phrases, chacune d'elles étant similaire quant au sens et comportant le même nombre de mots, la seule différence se trouvant dans l'agencement des mots eux-mêmes. Les candidats ont été placés sous un appareil de résonance magnétique pour analyser et reproduire l'activité cérébrale. Les trois photos suivantes représentent l'activité cérébrale par rapport à chaque question. Notez à quel point l'activité cérébrale augmente en fonction de la complexité de la phrase. Notez aussi que cette activité n'est concentrée que dans quelques millimètres cubes du cortex,

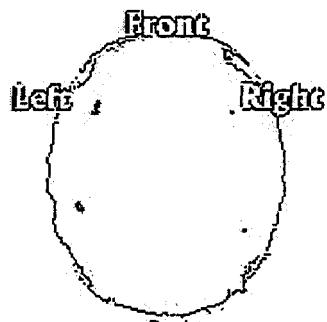
¹ Il ne faut pas oublier que les outils d'imagerie cérébrale demeurent assez grossiers car ils ne nous démontrent pas le fonctionnement du cerveau en temps réel, mais bel et bien des régions du cerveau sur une période beaucoup plus longue. Le fonctionnement d'un neurone ,quant à lui, est de l'ordre de la micro-seconde.

² JUST, M., CARPENTER, P., *Brain Activation Modulated by Sentence Comprehension*, in *Science Magazine*, 1996, October 4; 274: 114-116.

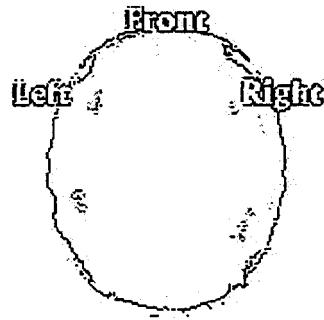
chacun contenant des centaines de milliers de neurones et qu'elle n'est pas fixée dans une seule zone mais répartie sur plusieurs.

Figure #2: Imagerie cérébrale

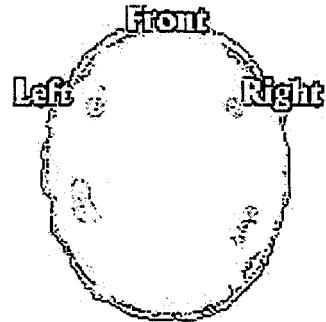
The reporter attacked the senator and admitted the error



The reporter that attacked the senator admitted the error



The reporter that the senator attacked admitted the error



On peut tirer quelques conclusions intéressantes de cette expérience :

1. rappelons-nous qu'il a été dit par plusieurs spécialistes que l'hémisphère gauche du cerveau possédait une machinerie neuronale plus appropriée pour l'analyse du langage et que l'hémisphère droit n'y jouait qu'un rôle

tout à fait mineur. Pourtant, les images ici présentées semblent nous indiquer tout le contraire;

2. On se rend bel et bien compte, tout comme l'avait entrevu Edelman, que «*du fait de la relation existant entre développement, structure et fonction, il ne serait pas surprenant que dans le cerveau, les activités fonctionnelles d'un groupe de cellules connectées soient dépendantes à la fois des activités des groupes cellulaires voisins et du passé du groupe lui-même.*»³ Mais plus encore comme nous le verrons un peu plus loin, c'est que le cerveau crée ses propres catégorisations de groupes de neurones pour certaines activités ou schémas de réponse;
3. Ces cartes ne seront pas forcément les mêmes pour un autre individu.

Une étude publiée dans le *Journal of Cognitive Neuroscience*⁴ suggère que pour l'anglais, le cerveau n'utilisera pas les mêmes cartes neuronales pour traiter les verbes réguliers et les verbes irréguliers. Parce que les verbes réguliers se dérivent au passé en ajoutant le suffixe *ed*, il n'est pas nécessaire de recourir à des processus opératoires complexes pour se les remémorer. Par contre, les verbes irréguliers étant tout à fait imprévisibles, ceux-ci exigent un tout autre processus pour les analyser.

Ces démonstrations par imagerie cérébrale soumettent à rude épreuve les positions localisationnistes et tendent plutôt à pencher en faveur de processus opératoires. Pour le moment, nous ne savons pas en quoi consistent exactement ces processus opératoires. Mais il est peut-être possible de dégager des pistes d'analyse en se posant les trois questions suivantes :

³ Ibid., p. 187.

⁴ MARSLEN-WILSON, W., TYLER L., *Rules, representations, and the English past tense*, in Trends in Cognitive Science, 1998, 2:11:428-435.

1. Quelles sont les paramètres d'apparition des processus opératoires?
2. Comment les processus opératoires se développent-ils?
3. Quels sont les processus opératoires activés en fonction de certains contextes?

4.2 Solution de continuité

Nous devons *a priori* admettre qu'il ne peut y avoir conscience sans substrat neurologique. À ce jour, la science n'a nullement permis de mettre en évidence la présence ou l'existence d'une forme de conscience désincarnée. Le concept d'une conscience indépendante de tout appareillage neurologique relève de la religion ou du mysticisme et n'a rien à voir avec la science. On ne peut ni la vérifier, ni l'observer, ni en voir ses effets; ce n'est que pure spéulation. En fait, il est possible qu'au fil du temps et de l'évolution, à partir d'un protoplasme quelconque aux activités faiblement spécialisées, la conscience, tout comme nos organes, se soit développée. Au fur et à mesure du processus évolutionniste, des organes sont apparus et se sont développés afin d'appréhender l'environnement. Par le biais d'influx sensoriels en provenance d'une batterie d'organes biologiques, l'organisme vivant se constitue une image cohérente du monde dans lequel il évolue. Nous pouvons dire que la réalité correspond au moins à l'image que nous en donnent nos sens.

On peut alors supposer que selon l'appareil neurologique disponible, un certain état de conscience devient disponible. Le neurophysiologiste suisse Walter Hess a suggéré que les états de conscience sont tributaires de l'organisation même du cerveau. Sans système neuronal approprié, la conscience n'est que pure spéulation. La conscience est donc un

processus entièrement cérébral. «*Si mystérieuse qu'elle puisse être, la chimie du cerveau dicte le scénario de la conscience, son flux, en temps réel.*»⁵ Pour preuve, un simple changement dans la chimie du sang et la conscience, telle qu'elle est à son état normal, est modifiée. Alcool, psychotropes et dérèglements de certaines glandes modifient systématiquement la conscience. «*Quand la chimie du sang est perturbée, toute la structure de la rationalité de l'intellect peut s'effondrer.*»⁶ En somme, si la conscience était séparée du corps, si elle était en quelque sorte immatérielle, elle ne pourrait être affectée par des phénomènes matériels.

«*On voit donc qu'un système de contrôle central est prêt à s'emparer de l'esprit, à le diriger dans des directions spécifiques si la chimie du sang change. Cela est vital pour le bien-être de l'organisme, et a une valeur de survie très élevée.*»⁷

La conscience semble un pur produit de la pression évolutive tout comme le langage, la pensée et les autres fonctions mentales.

«*Il me semble plausible d'estimer qu'une force sélective majeure, qui aurait pu favoriser l'apparition d'une conscience encore très vague, est ce besoin très fort qu'éprouvent les animaux inférieurs de comparer les données venues des divers organes sensoriels, afin de parvenir à, ou de synthétiser, une image cohérente des événements du monde extérieur, puis d'y réagir pour survivre. Il s'agit en fait d'ordonner les unes par rapport aux autres les informations séparées fournies par le toucher et la vue, ou la vue, l'odorat et l'ouïe.*»⁸ «*La conscience a été affûtée sur l'enclume de la sélection naturelle. Les perceptions induites par les processus neuronaux chargés de la conscience constituent un analogon du monde extérieur. Il varie avec les espèces, en fonction de leurs différentes modalités sensorielles : chacune a son propre cosmos. L'expérience consciente est celle d'une continuité, d'une séquence temporelle où l'attention est sélective. Les processus neuronaux qui la régissent travaillent en parallèle.*

⁵ DENTON, D., *L'Émergence de la conscience de l'animal à l'homme*, coll. Champs, Paris, Flammarion, 1995, p. 38.

⁶ Ibid. p. 52.

⁷ Ibid. p. 37.

⁸ Ibid. p. 181.

L'existence d'une mémoire à court terme est indispensable pour donner puissance à ce qui a été perçu.»⁹

4.3. Le système ouvert

Le cerveau correspond avant toutes choses à un système. Un système peut se définir comme une entité relativement individualisable qui se détache de son contexte ou de son milieu tout en procédant à des échanges avec son environnement. Ce que produit l'activité d'un système, c'est un résultat. Pour atteindre un résultat, il est nécessaire d'avoir une quelconque activité. Pour qu'il y ait activité, il faut des ressources. Dans le cas qui nous intéresse, les ressources sont des influx nerveux en provenance de nos organes de perception. Les trois variables d'un système seront alors *a) ressources b) activité c) résultat*. Donc, la résolution de chacune des variables *a, b* et *c* correspondra à un processus opératoire.

1. Le processus d'apparition correspond à un intrant ou ressource qui lui résulte de l'influence de l'environnement sur le système.
2. Son développement ou activité correspond à un mécanisme de rétroaction fonctionnant par sélection et renforcement.
3. La stabilisation ou l'équilibre est atteint lorsque le système intègre ou ajuste les intrants dans son mode de fonctionnement de façon à les adapter aux circonstances nouvelles.

Voici quelques considérations relatives aux systèmes dans le contexte qui nous intéresse :

- a) Le système produit des résultats pouvant être utilisés par d'autres systèmes avec lesquels il a des échanges.
- b) Un système n'existe alors qu'en relation avec d'autres systèmes mais c'est le résultat produit par chacun de ces systèmes qui les lie.

⁹ Ibid. p. 183.

- c) Il va sans dire que notre analyse ne porte que sur un type de système bien particulier : le système ouvert.
- d) Un système ouvert est un système où l'ensemble a une volonté propre face à l'extérieur, mais où chaque partie, prise séparément, n'en a pas. Tout organisme vivant est essentiellement un système ouvert.
- e) Un système ouvert se maintient dans un flux entrant et sortant continuels, dans une construction et déconstruction de composantes persistantes.
- f) Le système ouvert possède un mécanisme de rétroaction lui permettant de comparer les résultats obtenus aux résultats attendus. Les informations reçues par ce mécanisme de rétroaction sont sélectives et renforcées afin d'assurer leur pertinence. De cette pertinence dépend le fonctionnement du système.
- g) Un système ouvert a tendance à augmenter la différenciation des parties composantes et à multiplier les rôles spécialisés. C'est cette tendance qui permet la catégorisation. À cet effet, l'exemple de l'imagerie cérébrale présentée au début de ce chapitre nous démontre fort bien ce phénomène de spécialisation de certaines cartes neuronales, ce qui pourrait nous porter à croire, mais à tort, que le cerveau est initialement constitué de zones spécialisées.
- h) Un système ouvert peut, à partir de conditions différentes, parvenir à des résultats similaires. Cette caractéristique est fondamentale car, autrement, le système devrait être déterministe alors que le système ouvert est fondamentalement et intrinsèquement un système non déterministe.

4.4. Les processus opératoires

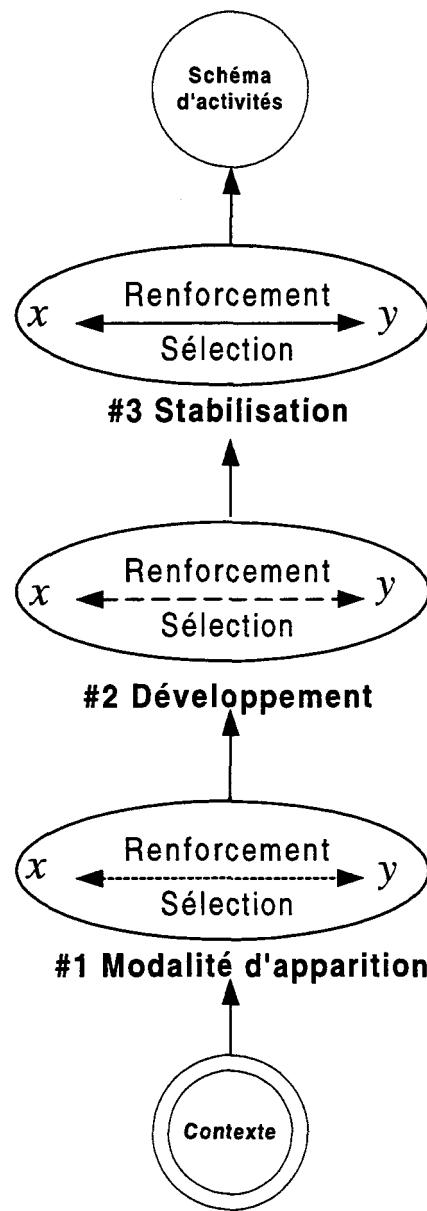
Nous avons vu que de la catégorisation qu'opère le cerveau sur ses propres cartes neuronales en s'appuyant sur des processus de sélection et de renforcement émerge le concept et éventuellement le symbole. On dira alors qu'il s'agit d'un processus opératoire permettant une montée en abstraction, lequel processus opératoire s'effectue en trois étapes:

1. l'apparition de celui-ci (ressources);
2. son développement (activité);
3. sa stabilisation (résultat).

Si nous pouvons décrire un processus opératoire, c'est que nous pouvons le formaliser puisqu'on peut le soumettre à une compression algorithmique. Nous dirons alors qu'un processus opératoire correspond à une structuration au sens constructiviste où aucune connaissance n'est donnée *a priori* et où toute connaissance doit être extraite de son interaction avec l'environnement afin de construire une représentation de la réalité et ce, à différents niveaux. Pour ce faire il nous faut recourir à la notion mathématique de fonction, que nous transposerons en terme de fonction propositionnelle de type $f(x,y)$ où f est proprement la fonction ou prédicat et x et y en sont les variables ou arguments. f est donc nécessairement déterminé mais x et y ne le sont pas. Une fonction propositionnelle n'étant pas une proposition elle ne peut donc être ni vraie ni fausse. Et nous insistons particulièrement sur ce point car f détermine seulement un domaine de définition correspondant à l'ensemble des objets pour lesquels la fonction a un sens. Nous dirons donc qu'une fonction de structuration $f(x,y)$ décrivant un processus opératoire n'est valable et n'a de sens que pour l'ensemble des objets propres à x et y où x et y prennent différentes valeurs de même nature en fonction du niveau de traitement, soit: apparition, développement et stabilisation. $f(x,y)$ a donc pour but d'effectuer une montée en abstraction en effectuant des traitements asymétriques dans x et y par le biais de sélections et de renforcements.

Si on voulait se représenter autrement la chose, nous pourrions dire qu'il s'agit d'un travail de sélection et de renforcement à la fois sur le plan vertical (monté en abstraction) et le plan horizontal (sélection et renforcement) tel que le démontre le schéma de la page suivante.

1. **Apparition** (quantification universelle). L'apparition d'un processus opératoire sera toujours initialisé par un contexte ou, si nous préférons, un schéma d'activités quelconque. On dira alors $(\forall x)(\forall y) f(x,y)$, ce qui signifie que tout x et tout y peuvent potentiellement vérifier f . On parlera alors de quantification universelle. Plusieurs processus opératoires peuvent ainsi être déclenchés simultanément. Une opération de sélection commencera tout d'abord par sélectionner globalement dans l'ensemble de tous les x et y disponibles ceux qui pourraient être les plus appropriés au schéma d'activités initialisateur. Si le schéma correspond à un schéma existant ou si aucun schéma ne semble correspondre ou peu au schéma initialisateur, alors le rôle de ce processus opératoire sera d'intégrer ce nouveau schéma d'activités dans son propre schéma d'activités. Dans un cas de correspondance ou non, il y aura, par la suite, renforcement de liens déjà établis ou création de nouveaux liens dans des schémas x et y .
2. **Développement** (quantification existentielle). Le développement du processus opératoire quant à lui se poursuivra en fonction des schémas d'activités de l'apparition. Il y aura ici sélection parmi un crible de variantes de schéma d'activités particulières, lesquelles variantes seront les plus aptes à le traiter, conduisant par le fait même à un renforcement de la réponse d'un groupe de schémas d'activités. On dira alors $(\forall x)(\forall y)(\exists x)(\exists y) f(x,y)$, ce qui signifie que pour tout x et pour tout y il existe au moins un x et un y qui vérifie f . On parlera de quantification existentielle.
3. **Stabilisation** (quantification singulière). La stabilisation du processus opératoire s'effectuera lorsqu'une réponse adéquate semblera émerger par la sélection de schéma d'activités très ciblés et spécifiques et répondant au mieux possible au schéma d'activités initialisateur. Les liens seront alors renforcés ce qui permettra, dans le cas d'un schéma d'activités inconnu ou quasi inconnu, d'être intégré dans un schéma d'activités spécifique qui participera alors à l'ensemble de tous les schémas d'activités. On dira alors que $(\forall x)(\forall y)(ix)(iy) f(x,y)$, ce qui signifie que pour tout x et tout y il n'existe qu'un seul x et un seul y qui vérifie f . On parlera d'une quantification singulière.



Un processus opératoire sera donc défini comme une montée en abstraction depuis une quantification universelle jusqu'à une quantification singulière effectuée à chaque palier par des opérations de sélection et de renforcement de liens entre différents schémas d'activités de même nature.

Ainsi, d'un influx nerveux devenant schémas d'activités d'influx nerveux en provenance de nos sens, acheminés vers d'autres types de schémas d'activités de nature cérébrale, ceux-ci acheminés vers des schémas d'activités symboliques, il y a effectivement montée en abstraction. Le symbole n'est donc que l'émergence de tous ces processus opératoires combinés. Et pour traiter des symboles, il n'est nul besoin de connaître tout ce qui préside à leur mise en œuvre. Par exemple, ce qui se déroule dans le monde extérieur correspond à un contexte ou schémas d'activités. Si j'observe un chat boire du lait dans son bol, différents schémas d'activités en provenance de mes organes de perception, disons la vue et l'ouïe, induiront, chacun dans leur sphère de spécialisation neuronale, des processus opératoires. Ceux-ci seront par la suite acheminés aux neurones du cerveau sous forme de schémas d'activités d'influx nerveux déjà organisés. Les processus opératoires du cerveau induiront des schémas d'activités sub-symboliques qui eux seront acheminés à une autre strate, celle des processus opératoires symboliques, soit la lexis culiolienne.

Ce qui est intéressant avec un modèle de montée en abstraction par compression algorithmique effectuée par des sélections et des renforcements de liens, est que la résultante n'est jamais soit vraie soit fausse. Elle n'est qu'une représentation, elle délimite des frontières, elle autorise la création de catégories et de domaines notionnels. Qu'elle fasse sens ou non n'a pas d'importance car elle peut toujours être remise en question, détruite ou reconstruite. En fait, elle n'a de sens qu'en fonction de l'ensemble des autres schémas d'activités. Par exemple, un contexte ne provient pas forcément de l'extérieur. Il peut être saisi au sein même des schémas d'activités cérébraux existants. Je peux donc

penser sans utiliser mes organes de perceptions bien que ceux-ci, il va sans dire, m'ont déjà fourni une vision et une représentation du monde. Le niveau symbolique atteint donc un tel niveau d'abstraction qu'il me permet de réfléchir sur le symbole lui-même sans référence extérieure si besoin est. En supposant que nous disposons d'une fonction universelle nous permettant d'analyser un processus de structuration de la représentation de la réalité, appliquons-le à des données factuelles. Notre premier niveau d'analyse sera celui d'un neurone tel que l'a défini le biochimiste Gerald Edelman.

1. Comment se définit l'apparition d'un processus opératoire? Si processus opératoire il y a, il est forcément encaissé dans la machinerie neuronale. Dès qu'un influx nerveux est amené au niveau d'un neurone, «*des changements moléculaires surviennent à l'intérieur des cellules nerveuses et au niveau de leurs zones de contacts.*»¹⁰ L'apparition d'un processus opératoire est déclenché par un influx nerveux acheminé par les organes sensoriels et conduit à un changement moléculaire au niveau interne de la cellule et entraînant par le fait même un renforcement synaptique. Donc, $(\forall x) (\forall y) f(x,y)$ se vérifie si on dispose de tous les x et y et où x et y représentent l'ensemble de tous les groupes de neurones.
2. Comment un processus opératoire se développe-t-il? «*Le stimulus sélectionne des variantes particulières au sein de la population de groupes neuronaux. En effet la réponse d'un groupe est susceptible d'être amplifiée.*»¹¹ Le processus opératoire se développe par un phénomène de sélection. Ce processus choisit parmi un crible de variantes neuronales particulières quelles variantes seront les plus aptes à traiter le signal en fonction du contexte. Par la suite, le tout conduira à un renforcement de la réponse d'un groupe neuronal en fonction de ce signal. Donc, $(\forall x) (\forall y) (\exists x) (\exists y) f(x,y)$ se vérifie s'il existe au moins x et un y où x et y représentent certains groupes de neurones.
3. Comment un processus opératoire se stabilise-t-il? : «*Comme ces connexions sont renforcées, il lui est possible de modifier l'intensité de ces liaisons avec d'autres groupes et, en entrant en compétition avec eux, d'intégrer leurs neurones dans sa propre activité ou schéma de réponse.*»¹² Pour sélectionner

¹⁰ ROSENFIELD, I., *L'invention de la mémoire*, coll. Champs, Paris, Flammarion, 1994, p. 183.

¹¹ Ibid., p.183.

¹² Ibid., p.183.

une activité ou schéma de réponse, l'intensité des liaisons avec d'autres groupes seront renforcés, ce qui entraînera par le biais d'un renforcement de cette activité choisie une intégration d'un groupe de neurones dans son propre schéma de réponses. Donc, $(\forall x) (\forall y) (ix) (iy) f(x,y)$ se vérifie s'il existe un seul x et un seul y où x et y représentent un groupe de neurones.

Le résultat global d'un processus opératoire de cette nature est une fonction de structuration $f(x,y)$ qui permet d'intégrer un groupe spécifique de neurones dans une activité neuronale particulière ou schéma de réponse. Donc, la constitution ou construction d'un schéma d'activité de réponse résulte de l'application de $f(x,y)$ aux niveaux de l'apparition, du développement et de la stabilisation. Chaque fonction semble respecter le principe de traitement asymétrique effectué par des opérations de sélection et de renforcement. En somme, une fonction $f(x,y)$ serait le résultat d'une montée en abstraction sélective par renforcement dans des catégories x et y de même nature ayant des rôles asymétriques.

4.5 Création de catégories

Depuis le tout début de ce travail nous avons travaillé sur l'hypothèse que le cerveau procédait par compression algorithmique pour nous fournir une image cohérente du monde. Nous avons également vu que cette compression n'est possible que par le biais d'un traitement asymétrique dans des catégories de même nature. Nous avons également pu en dégager une fonction de structuration $f(x,y)$ assez universelle pour expliquer ce phénomène. Nous proposons donc ici d'établir un pont entre la vision de la cognition désincarnée du cognitivisme et celle de la cognition incarnée du connexionisme. Il semble, suite à nos analyses, que l'être humain possèderait une cognition incarnée. Si tel est le cas,

la fonction $f(x,y)$ s'appliquera autant au niveau sub-symbolique qu'au niveau symbolique car, la fonction $f(x,y)$ serait fondatrice d'une monté en abstraction sélective. On pourrait ici supposer que, du biologique jusqu'au sub-symbolique, il n'y a pas de coupure mais bel et bien continuité et que, tout comme pour l'exemple de l'ordinateur, il y a depuis la strate biologique une montée en abstraction menant au niveau symbolique. Il n'est donc nul besoin pour la strate symbolique de connaître toute la mécanique qui préside à sa mise en œuvre pour se manifester bien qu'elle en soit la résultante. D'un certain point de vue, la cognition est désincarnée si l'on travaille sur le plan purement symbolique mais elle est en même temps incarnée puisqu'elle s'appuie sur une machinerie neuronale. Les deux positions ne s'excluent donc pas mutuellement et représentent plutôt deux aspects différents d'une même chose. En fait, on peut appliquer $f(x,y)$ à tous les niveaux sans commettre d'impairs, $f(x,y)$ n'étant qu'une fonction de structuration travaillant à différents niveaux.

Ainsi, on pourrait spéculer sur le fait que si $f(x,y)$ détermine un domaine de définition qui est l'ensemble des objets x et y pour lesquels la fonction a un sens, c'est qu'elle détermine *in extenso* des catégories, à savoir l'ensemble des objets x et y qui ont telle ou telle propriété. Et c'est peut-être ici qu'il nous est possible de voir comment, à partir d'objets x et y , on peut dégager des catégories, des domaines notionnels et des frontières de sens. Auquel cas, le réseau d'objets x et y serait à la fois connaissance et mécanisme de cette même connaissance. L'un ne serait pas dissocié de l'autre et vice versa. D'ailleurs, deux figures de proue peuvent nous éclairer sur la chose: le biochimiste Gerald Edelman a, par ses travaux sur la sélection des groupes neuronaux, mis en évidence ce fait à savoir que

connaissance et mécanisme de la connaissance sont intimement liés. Le linguiste Antoine Culoli a, de son côté, par une toute autre approche, déjà entrevu ce traitement asymétrique. Sa théorie de la montée en abstraction des opérations énonciatives où aucun système de règles n'opère sur les données lexicales mais où une *lexis* est à la fois connaissance et mécanisme de la connaissance nous le démontre fort bien. Les travaux de ce dernier, repris plus tard par Georges Vignaux¹³, ont atteint un niveau descriptif beaucoup plus cohérent et élaboré où de nouvelles pistes d'exploration furent proposées. Le prochain chapitre s'attardera donc à démontrer, à partir de deux méthodologies de prime abord aux antipodes l'une de l'autre, comment la fonction $f(x,y)$ corrobore et permet de formaliser la monté en abstraction des opérations énonciatives.

¹³ VIGNAUX, G., *Le discours acteur du monde*, Paris, Ophrys, 1988.

PARTIE III

Pistes d'exploration

Chapitre 5

Contexte et émergence du symbole

5.1 Introduction

D'aucuns diront que dans certains contextes, certaines phrases peuvent prendre des significations complètement différentes. L'état significatif de la phrase n'a de sens qu'en fonction d'un certain contexte au même titre qu'au niveau neuronal «*un état interne n'a de sens qu'en relation avec un certain contexte; des activités cérébrales analogues peuvent avoir des significations très différentes.*»¹ Ce qui revient à dire qu'il ne peut y avoir d'état de conscience directement lié et associé aux objets. Il n'y a pas, par exemple, dans le cerveau, une cellule relative au chat, cellule dont le but serait de nous avertir lorsque nous voyons un chat. De même, dans la nature, il n'y a pas de couleurs; il n'y a que des longueurs d'ondes. C'est l'appareil neurologique du cerveau qui crée les couleurs. On constate donc bien que la conscience, tout comme la symbolisation, émergent de processus opératoires, ceux-ci initiés par l'apport d'influx sensoriels dans des contextes extérieurs toujours fort différents. Pourtant, même si aucune cellule ne semble détenir toute l'information en rapport avec une réalité externe, le cerveau, au total, perçoit l'image ou le concept. Et donc, tout ce traitement est de niveau sub-symbolique avant d'émerger au niveau symbolique. Nous revenons alors à cette notion fondamentale du constructivisme où

¹ ROSENFIELD, I., *L'invention de la mémoire*, coll. Champs, Paris, Flammarion, 1994, p. 79

toute émergence d'états de conscience est le résultat d'une montée en abstraction reliée directement à un contexte extérieur.

«La perception d'un mot dans un certain contexte est le résultat d'une interaction entre les schémas d'activité et les nombreux centres cérébraux.»². «Et puisque les signes linguistiques contribuent à l'élaboration de ces généralisations, leurs significations changeront en fonction des circonstances, ce qui exclut la présence effective de symboles au niveau cérébral.»³

Le monde extérieur est pré-existant à toute forme de conscience. Il ne fournit à aucun organisme vivant ce qu'il doit apprendre ou savoir pour être appréhendé. Au contraire, les organismes vivants doivent créer du sens à partir des organes perceptifs qu'ils ont développés au cours de leur évolution. Si certains organismes n'ont pas développé, par exemple, la vue, alors leur création de sens de l'univers extérieur sera forcément complètement différent de ceux qui l'ont développée.

«[...] le cerveau doit attribuer une signification aux stimuli sensoriels, et sa façon de le faire dépend de plusieurs facteurs issus de l'environnement. Pour y parvenir, il utilise par conséquent la sélection de groupes neuronaux. Il n'est pas possible de prévoir quel sera le degré de pertinence des stimuli en cas de variation du milieu.»⁴

Plus nous avançons dans notre démarche, plus il devient évident que le contexte seul peut faire émerger le sens approprié à une situation extérieure donnée. Et c'est là que les travaux de Gerald Edelman sur le darwinisme neuronal viennent jeter un éclairage tout à fait particulier sur la fonction $f(x,y)$. Ces travaux ont le bonheur de présenter le fait que la reconnaissance ou un ensemble de processus opératoires représentent ni plus ni moins que l'émergence de catégories que notre machine neuronale a élaborées en fonction des influx

² Ibid., p. 120.

³ Ibid., p. 136.

⁴ Ibid., p. 200.

sensoriels issus de l'environnement immédiat. Il met également en évidence le fait que perception et reconnaissance ne sont pas des processus cérébraux dissociés l'un de l'autre. Il s'agit en fait de l'application de mécanismes darwinistes de sélection naturelle. Ce sont ces mécanismes qui sont le fondement même de la capacité de notre cerveau à transformer la perception biologique en catégories. Et ces catégories, par la force des choses, constituent ce que l'on nomme la mémoire et la reconnaissance. C'est donc un fantastique et complexe processus d'apprentissage. «*On peut le considérer comme une amélioration de l'efficacité des synapses à la suite d'une utilisation répétée.*»⁵ Des catégories de neurones se spécialisent dans des schémas d'activités de réponses et nous démontrent que nous n'emmagasinons pas des informations au sens informatique du terme. Nous nous enrichissons plutôt de la capacité d'opérer au moyen de catégories cohérentes entre elles.

5.2 Les catégories

Dans sa forme actuelle, la théorie d'Edelman traite de catégories perceptives et non de problématiques de catégorisation de fonctions cérébrales telles que la conscience et le langage. Mais, elle nous fournit tout de même une base plus qu'intéressante.

«*La vie de l'esprit n'est pas réductible à des molécules. L'intelligence humaine ne consiste pas uniquement à accumuler des connaissances, mais à remanier, à créer de nouvelles catégories et, par conséquent, à généraliser l'information sous des formes neuves et inattendues.*»⁶

Ce que l'on peut vraisemblablement postuler, c'est que des cartes sensorielles, c'est-à-dire des regroupements de neurones déterminant des schémas d'activités neuronaux spécifiques,

⁵ ECCLES, J., *Évolution du cerveau et création de la conscience*, coll. Champs, Paris, Flammarion, 1994, p.232.

⁶ ROSENFIELD, I., *L'invention de la mémoire*, coll. Champs, Paris, Flammarion, 1994, p.205.

correspondent à des catégories perceptives, lesquelles catégories déterminent sur le plan symbolique des espaces de signification.

«La langue est évidemment acquise en société, mais notre aptitude à l'utiliser, à continuellement repenser le monde qui nous entoure, est au moins en partie le reflet des cartographies de tous ordres dont procède visiblement la fonction cérébrale.»⁷ «On peut imaginer comment une série de cartes serait capable d'abstraire les contours phonétiques les plus larges de la phrase, et comment, ultérieurement, des procédures d'abstraction identiques détermineraient les limites des mots, d'autres cartes déduisant les corrélations formées entre eux.»⁸

Ce qui expliquerait cette propension qu'ont les enfants, avant tout apprentissage formel d'une grammaire à l'école, de reproduire les mêmes schémas de conjugaison pour un seul et même verbe. Par exemple, en français, à l'indicatif présent, à la troisième personne du pluriel, le verbe être se conjugue *ils sont* et à l'imparfait *ils étaient*. Certains enfants diront *ils sintaient* car, à l'indicatif présent, à la troisième personne du singulier, on a *il est* et à l'imparfait *il était*. Alors, *ils sont = ils sintaient*. C'est un processus tout à fait normal. Et d'ailleurs, tout l'apprentissage d'une langue fourmille de ces exemples.

Vu sous cet angle, «*le langage serait le privilège de l'homme parce qu'il dépendrait de la taille de son cerveau, de la quantité de cartes disponibles pour réaliser ces procédures d'abstractions.*»⁹ Et par dessus tout, l'homme possède un appareil phonatoire complexe sous l'entier contrôle conscient du cerveau, ce qui le distingue évidemment de toutes les autres espèces.

«Grâce au langage et à toutes sortes d'images, l'homme a créé des transformations de stimuli plus vastes et plus englobants. [...] Le fait que

⁷ Ibid., p.206.

⁸ Ibid., p. 215.

⁹ Ibidem.

chaque phrase que nous produisons devienne à son tour un stimulus nouveau, signifie que son sens se trouve transformé.»¹⁰

5.3 L'émergence du symbole

Au tout début du chapitre 4 nous avons vu, à partir de l'imagerie cérébrale, en quoi peut consister l'activité cérébrale relativement au traitement du langage. Selon la complexité du problème à résoudre, différentes catégories de cartes neuronales peuvent être sollicitées ou non. Ces catégories neuronales déterminent sur le plan symbolique des espaces de signification. Mais les symboles ne sont pas gravés quelque part dans un neurone ou ailleurs dans le cerveau. Il s'agit plutôt de cartes neuronales qui ne peuvent être activées que par des processus opératoires. Au même titre que la couleur n'existe pas, qu'elle n'est qu'une longueur d'ondes, et que c'est notre cerveau qui la crée, le symbole n'existe pas et n'est qu'un schéma d'activité, et c'est notre cerveau qui le crée. Donc, un symbole émerge d'un processus opératoire, lequel processus peut être décrit par une fonction $f(x,y)$. La perception ou création du symbole ne devient possible que lorsqu'un processus d'homéostasie, c'est-à-dire un processus de stabilisation physiologique, agit sur les schémas d'activité des cartes neuronales.

À partir de cette fonction d'émergence du symbole ou de structuration du symbole, le symbole émerge, dans lequel sont contenus les contours plus ou moins précis de celui-ci. Par exemple, s'il est fait référence à une table, les contours, la représentation globale de celle-ci sera différente pour chaque individu. Il suffit de faire un simple test pour s'en

¹⁰ Ibid., p.216.

convaincre : demandez à dix personnes de vous décrire sur papier en quoi consiste une table et vous obtiendrez dix versions différentes. Autrement dit, le symbole est toujours fonction d'un contexte particulier. Le symbole de *table* fait donc référence à beaucoup plus qu'une plate-forme en bois ayant quatre pattes pour la supporter et assortie d'un certain nombre de chaises. Chaque culture, chaque langue, autrement dit chaque environnement, donnera une représentation globalement différente du symbole. Et cette représentation inclut tous les contours possibles du symbole. Ces contours représentent un lieu, une ou des couleurs, une lumière particulière, une atmosphère, peut-être même des odeurs. Et il en va de même pour tous les symboles. Par contre, certains d'entre eux possèdent des caractéristiques qui leurs sont propres. Ainsi, le symbole comme nous l'avions envisagé est, dans l'évolution, antérieur à la syntaxe. Sous la pression évolutive, afin de structurer entre eux les symboles et leur donner cohérence, la taille du cerveau s'est accrue. Le langage, à partir d'une pure expression symbolique non organisée et pourtant extrêmement porteuse de sens, est devenu cohérent à travers une syntaxe.

En langue, les symboles sont facilement identifiables. Dans les langues indo-européennes on retrouve l'ensemble des éléments qui composent les parties du discours : noms, pronoms, verbes, adverbes, adjektifs, etc. Plusieurs langues asiatiques ne possèdent pas de parties du discours et font plutôt appel à des concepts plus flous et comportant plusieurs sens. Mais, peu importe la forme de la langue en surface, ces symboles, à un niveau plus profond, possèdent des propriétés bien particulières. Certains servent littéralement d'opérateurs de montée en abstraction énonciative et sont par le fait même des

fonctions de type f , tandis que d'autres ont comme rôle de définir des domaines notionnels ou encore de préciser les frontières des domaines notionnels et sont représentés par les arguments x et y de f .

5.4. La théorie des opérations énonciatives

À la base de la théorie des opérations énonciatives¹¹, Culoli prétend que le langage est une activité qui suppose une perpétuelle activité épilinguistique et donc signifiante. Signifiante parce qu'elle suppose, qu'aux deux bouts de l'énoncé, existent des opérations qui la rendent possible. Cette activité est structure et qui dit structure oblige à la présence de noyaux invariants qui la rendent possible. Donc,

*«il est permis de poser, en étayant la thèse sur des arguments théoriques, qu'il existe à un niveau très profond (vraisemblablement prélexical) une grammaire des relations primitives où la distinction entre syntaxe et sémantique n'a aucun sens.»*¹²

Dans cette perspective, le langage est un système ouvert «travaillant constamment de l'ajustement entre énonciateurs, entre idées, entre états de connaissances et les expressions qui en font repères.»¹³ Alors, tout comme nous l'avons vu pour le cerveau et ses composantes fondamentales que sont les neurones en tant que système ouvert, il en va de même pour le langage. Si on peut considérer ces deux systèmes comme des systèmes ouverts, c'est qu'ils partagent au moins certaines caractéristiques communes propres aux systèmes ouverts. Ces caractéristiques, dans le cas de l'énonciation qui nous intéresse présentement, se définissent comme suit :

¹¹ Dont les principes ont été réunis dans un grand nombre d'articles parus entre 1970 et 1986.

¹² VIGNAUX, G., *Le discours acteur du monde*, Paris, Ophrys, 1998, p. 94.

¹³ Ibid. p. 97.

- a) Le système produit des résultats pouvant être utilisés par d'autres systèmes avec lesquels il a des échanges.
- b) Un système n'existe alors qu'en relation avec d'autres systèmes mais c'est le résultat produit par chacun de ces systèmes qui les lient.
- c) Un système ouvert est un système où l'ensemble a une volonté propre face à l'extérieur, mais où chaque partie, prise séparément, n'en a pas. L'énonciation est essentiellement un système ouvert.
- d) Un système ouvert se maintient dans un flux entrant et sortant continuels, dans une construction et déconstruction de composantes persistantes.
- e) Le système ouvert possède un mécanisme de rétroaction lui permettant de comparer les résultats obtenus aux résultats attendus. Les informations reçues par ce mécanisme de rétroaction sont sélectives et renforcées afin d'assurer leur pertinence. De cette pertinence dépend le fonctionnement du système.
- f) Un système ouvert a tendance à augmenter la différenciation des parties composantes et à multiplier les rôles spécialisés. C'est cette tendance qui permet la catégorisation.
- g) Un système ouvert peut, à partir de conditions différentes, parvenir à des résultats similaires. Cette caractéristique est fondamentale car, autrement, le système devrait être déterministe alors que le système ouvert est fondamentalement et intrinsèquement un système non déterministe.

Et en ce sens, la théorie des opérations énonciatives doit rendre compte, non pas d'états achevés, domaines ou catégories, mais des conditions et des modes d'engendrement de ceux-ci. Pour en arriver aux domaines et aux catégories,

«cela ne peut se faire qu'en admettant qu'à l'origine, il y a bien des formes mais qu'elles ne sont là que pour favoriser des combinatoires multiples du placement des signes les uns par rapport aux autres et que, pour les raisons de cette prolifération même, elles ne peuvent être en vérité, que des places offertes selon un schéma de départ, minimal et commun sinon universel, explicatif en tout cas du plus grand nombre possible de ces mises en relations qui fondent incessamment notre activité langagière.»¹⁴

¹⁴ Ibid. p.98.

Ce schéma de départ donc, qui met en œuvre un grand nombre possible de mises en relations, serait-il équivalent à un processus opératoire ? Ce schéma primitif ou *lexis* qui assure cette opportunité permanente des mises en place dans l'exprimable, Culoli lui assigne trois places : celle du prédicat et celle de deux arguments. Il s'agit en fait d'une relation R de la forme $x R y$ où x est la source de R , et y , le but de R . Cette relation primitive et fondatrice de tout acte de langage est donc toujours une relation d'orientation. La *lexis* correspondrait alors bel et bien à un processus opératoire, donc une fonction $f(x,y)$ effectuant une montée en abstraction par le biais de sélections et de renforcements dans des catégories asymétriques.

Selon Culoli, le terme de départ sera toujours sélectionné, quelles que soient les occurrences, grâce à un opérateur \in et qui s'articulera comme suit :

1. *au niveau prélexical, on serait en présence d'un schéma de lexis, c'est-à-dire : un schéma «vide» à trois places, de la forme que Culoli note encore : $\langle \xi_0, \xi_1, \pi \rangle$, et qui se lirait de la façon suivante : premier argument ξ_0 (ou point de départ de la relation), deuxième argument ξ_1 (ou point d'arrivée de la relation) et prédicat π (ou encore : la relation établie entre ces deux points). En conséquence, les relations que ces trois places vont entretenir entre elles, à l'intérieur de la lexis, vont être de trois types ainsi symbolisés :*
 - $\xi_0 \in \xi_1$ (qui indique la relation allant du point de départ à l'arrivée) ;*
 - $\xi_0 \in \pi$ (qui marque l'identité voire la différence de propriété entre le premier argument et le prédicat de relation) ;*
 - $\xi_1 \in \pi$ (qui signale l'identité voire la différence de propriété entre le second argument et le prédicat de relation).*
2. *Ce schéma de lexis va fonctionner comme filtre lexical et ainsi, selon les circonstances, les «domaines» et surtout les «orientations» du propos, permettre au sujet énonciateur de sélectionner trois termes du lexique : $\langle R, x, y \rangle$; ce qu'on pourrait schématiser de la façon suivante : $\langle \text{mange/chat/souris} \rangle$, si l'on voulait simplement indiquer qu'il s'agit là d'un*

niveau meta, préliminaire à la constitution de ce qui se donnera par la suite comme «énoncé»¹⁵.

Repronons ces différents aspects exprimés par Vignaux et Culoli et demandons-nous s'ils correspondent à $f(x,y)$.

- a) $\xi_0 \in \xi_1$ (*qui indique la relation allant du point de départ à l'arrivée*) . Cette proposition correspond pour un processus opératoire à l'apparition. Ce sont des jeux d'orientation à partir desquels s'effectuera une focalisation d'un terme par rapport à un autre ou d'un certain type de relation entre ces deux termes.
- b) $\xi_0 \in \pi$ (*qui marque l'identité voire la différence de propriété entre le premier argument et le prédicat de relation*) et $\xi_1 \in \pi$ (*qui signale l'identité voire la différence de propriété entre le second argument et le prédicat de relation*). Cette proposition correspond pour un processus opératoire à la sélection et au renforcement. Il s'agit dans le cas présent de phénomènes de localisation, d'identification et d'appartenance.
- c) *Ce schéma de lexis va fonctionner comme filtre lexical et ainsi, selon les circonstances, les «domaines» et surtout les «orientations» du propos, permettre au sujet énonciateur de sélectionner trois termes du lexique.* Cette proposition correspond pour un processus opératoire à la stabilisation, à savoir le passage d'une relation prédicative à une relation énonciative.

\in correspond en fait à f et ξ_0 et ξ_1 correspondent aux arguments x et y de la fonction $f(x,y)$. On peut donc dire que le schéma de lexis $\langle R, x, y \rangle$ est équivalent à $f(x,y)$ donc isomorphe. Dans le monde de l'énonciation ξ_0 et ξ_1 réfèrent à des domaines notionnels ou catégories, tandis que dans l'univers neuronal ils réfèrent à des domaines perceptifs ou catégories perceptives. Que sont donc ces domaines notionnels dans la perspective culiolienne?

¹⁵ VIGNAUX, G., *Le discours acteur du monde*, Paris, Ophrys, 1988, p.102.

5.5. Domaines notionnels et catégories

«Les domaines constitueraient nos sources quotidiennes de la «catégorisation» des objets et phénomènes du monde. En tant que lieux-ressources de cette activité incessante de catégorisation, ils auraient le statut de «domaines notionnels.»¹⁶

Ces domaines notionnels,

«espace de signification ayant des propriétés tantôt physiques tantôt culturelles, tantôt encore ouvert tantôt fermé selon qu'on pourrait le prendre comme stable et achevé ou à l'inverse, comme lieu de constructions sémantiques destinées à le compléter voire à le transformer ou l'investir.»

Cette hypothèse s'appuie sur le postulat suivant émis par Vignaux¹⁷ :

«Il est permis de poser, en étayant la thèse sur des arguments théoriques, qu'il existe à un niveau très profond (vraisemblablement pré-lexical), une grammaire des relations primitives où la distinction entre syntaxe et sémantique n'a aucun sens.»

C'est sur ce postulat que nous fonderons notre hypothèse de base et, comme ce que nous traitons, c'est le texte, «le sujet dit ou écrit»¹⁸, nous devrons préalablement en saisir un tant soit peu la nature.

Le texte est généralement considéré comme la matérialisation écrite de la mise en scène du discours. Par contre, l'évidence même de l'absence des faits non linguistiques comme éléments constitutifs de l'interprétation de celui-ci se soustrait à elle-même et nous plonge dans un certain paradoxe. Comment réinstancier les trois paramètres non linguistiques contextuels : situation, statut psycho-social de l'énonciateur, domaines notionnels que possèdent *a priori* un énonciateur et un co-énonciateur, en présence d'un

¹⁶ Ibid. p. 113

¹⁷ Ibid., p.94.

¹⁸ Ibid., p.217

texte ? En autant que nous puissions admettre que l'énonciation est constitutive à la fois de la signification de l'énoncé et de l'interprétation donnée à celui-ci dans un contexte donné, nous devrions alors être en mesure de reconstruire virtuellement une certaine «situation contextuelle» dans laquelle le discours a été écrit, ainsi que la nature du statut psycho-social de l'énonciateur. Mais, il faut bien admettre que dans l'état actuel des connaissances, tant sur le plan théorique que technologique, aucun système n'est en mesure d'être en contact effectif et en temps réel avec le monde extérieur, et surtout de se l'approprier. D'ailleurs, un texte ne prend signification et ne devient discours actualisé que lorsqu'il est en contact avec un lecteur. Et ce même lecteur est constamment en contact, lui, avec le monde extérieur. Donc, les connaissances et les inférences que le lecteur acquiert par rapport à son environnement sont en constante réadaptation et réactualisation, ce que le système le plus perfectionné n'arrive nullement à faire. Par le fait même, comme le lecteur partage une certaine connaissance commune avec le rédacteur, il est rapidement en mesure de se construire une image virtuelle non objective de celui-ci, ce qui est tout à fait hors de portée de la machine. Dans une telle situation, nous devrons partir du fait qu'il est à tout le moins impossible¹⁹ pour un automate quelconque de se reconstruire une représentation de la réalité²⁰. Tout au plus, l'automate sera-t-il en mesure de se donner une «certaine image virtuelle de la réalité extérieure» et non pas une «compréhension de la réalité extérieure» au sens où nous l'entendons habituellement. En fait, le seul domaine d'exploration qui nous

¹⁹ Dans l'état actuel des connaissances et des technologies.

²⁰ Il n'est nullement ici dans notre intention de discuter de la phénoménologie de la réalité. Le relativisme cognitif, entendre ici le postmodernisme, qui prévaut aujourd'hui, ne nous intéresse pas et nous considérons que la réalité est au moins approximativement à l'image de ce que nous en donnent nos sens. Par le fait même, nous nous opposons à l'intérêt pour toutes démarches subjectives indépendantes de leur valeur de vérité.

reste, est celui des domaines notionnels inscrits dans le texte. À tout le moins, sommes-nous alors en présence de données factuelles sur lesquelles il est possible d'effectuer un certain travail. Et notre allégation est à l'effet que ces espaces de signification sont déjà inscrits tant dans les substantifs que dans les verbes²¹.

Par contre, nous estimons qu'il y a une différence fondamentale entre les espaces de signification des substantifs et de ceux des verbes. Les substantifs sont des formes autonomes en terme d'espace de signification²². Les substantifs sont des données factuelles, ils réfèrent à des faits²³ concrets ou abstraits. C'est-à-dire qu'ils n'ont pas besoin d'autres particules grammaticales pour construire leur espace de signification. Par exemple, le mot *chaise* possède plusieurs éléments ou faits dans son espace de signification²⁴ et l'énonciateur n'a qu'à l'énoncer pour le que le co-énonciateur les perçoivent. Par contre, les verbes n'ont pas intrinsèquement cette propriété d'autonomie. Si je dis *délivrer* à un interlocuteur, j'ai besoin d'y inclure des substantifs, à la fois comme source et à la fois comme cible, pour que l'espace de signification se précise. Dans les deux énoncés suivants, *délivrer quelqu'un de quelque chose* ou *délivrer quelque chose à quelqu'un*, la forme verbale possède plutôt un rôle de repérage des espaces de signification des substantifs qui s'articulent autour de celui-ci. En somme, le verbe aurait un statut quasi autonome et aurait

²¹ Il faut ici prendre en considération que certaines langues ne possèdent pas de verbes en tant que tels, mais que d'autres processus y jouent le même rôle.

²² Peu importe le nombre qu'elles peuvent contenir.

²³ Un fait est quelque chose qui se passe en dehors de nous et qui existe indépendamment de la connaissance que nous en avons et, en particulier, de tout consensus ou interprétation.

²⁴ Chacune étant un fait.

pour rôle de commander les substantifs²⁵ acceptables pouvant s'associer dans une chaîne syntagmatique. Nous sommes alors d'accord avec le linguiste Louis Tesnière pour dire que le sujet et l'objet, représentés par des substantifs, sont des entités de même nature; ils jouent des rôles asymétriques par rapport au verbe. D'ailleurs, le mathématicien René Thom apporte une analogie intéressante à ce sujet :

«[...] un substantif correspond mentalement à un concept; or, un concept doit être considéré comme une sorte d'être vivant, un organisme qui vit, qui a un certain corps dans l'espace sémantique. Ce corps a une frontière et le concept a des mécanismes de régulation d'homéostase, qui lui permettent de résister aux agressions des concepts environnants. En général, ce sont justement ces mécanismes qui sont décrits par les verbes et c'est l'ensemble de ces processus de régulation qui permet de définir la nature sémantique du concept.»²⁶

Le domaine notionnel permettrait donc la fondation d'un domaine de sens et donc par le fait même de référence. Tentons une démonstration. En se basant sur l'ouvrage *Thésaurus : des idées aux mots, des mots aux idées*²⁷ de Daniel Péchoin²⁸, nous allons démontrer comment différents espaces de signification s'interpénètrent et comment la forme verbale oriente ceux-ci dans une direction donnée. La phrase «*Cette femme mangeait ses émotions*» nous servira d'exemple de base²⁹. Repérons dans le thésaurus les différents espaces de significations relatifs aux substantifs et au verbe où A=*Le monde*, B=*L'homme*,

²⁵ Terme source et terme cible au sens de la lexis culiolienne.

²⁶ THOM, R., *Paraboles et catastrophes*, coll. Champs, Paris, Flammarion, 1983, p.140.

²⁷ Ce thésaurus répartit l'information en cinq niveaux. Par exemple : (1)L'homme-(2)Êtres humains-(3)Humains-(4)Femme-[toutes les entrées lexicales relatives à la catégorie femme]. Nous considérons que ce travail est une représentation relativement intéressante de l'espace de signification de chaque mot. Il a au moins l'avantage de nous fournir une base pour réaliser du traitement automatique, et de plus, il s'agit de données factuelles, donc directement exploitables.

²⁸ PÉCHOIN, D., *Thésaurus : des idées aux mots, des mots aux idées*, Paris, Larousse, 1995.

²⁹ Cet énoncé a l'avantage de ne pas être un énoncé standard et nous empêche de tomber dans le piège des énoncés qui satisfont d'emblée à la démonstration d'une théorie.

C=La société. Le tableau suivant répertorie les espaces de signification des deux substantifs de l'énoncé.

Tableau #3 : Espaces de signification

Femme	émotion
	227-A-Mouvement-Force(choc)
309-B-Être humains-Humains(femme)	
315-B-Être humains-Humains(jeunesse)	343-B-Corps et Perceptions-Sensations(sensation) 440-B-Affectivité-Caractères(sensibilité)
	451-B-Affectivité-Disposition d'esprit(enthousiasme)
600-C-Rapport-Sentiments(amour)	602-C-Rapport-Sentiments(passion)
682-C-Vie collective-Famille(mariage)	
848-C-Vie quotidienne-Habitat(maison)	

La constatation que l'on peut faire est à l'effet que, en certains points des espaces de signification de chacun des substantifs, il existe des recoupements potentiels (par le biais de la grande catégorie *B*) mais non réalisés. La structure en cinq niveaux proposée par Péchoin³⁰ nous paraît ici refléter un état de fait intéressant, à savoir que ce ne sont que des listes qui renvoient à des faits, rien de plus. Pour preuve, le tableau suivant introduit l'espace de signification de la forme verbale. La forme verbale, comme nous le supposions, peut ici être associée à un mécanisme de tri dans les espaces de signification disponibles des substantifs. C'est ce qui nous permet de voir que certains espaces de signification se recoupent d'une certaine façon entre les trois éléments du tableau suivant au niveau de la grande catégorie *L'Homme (B)*. Mais là s'arrête la comparaison. Ce résultat est d'ailleurs peut-être tout à fait fortuit. Car, dans l'énoncé «*la femme regardait la télévision*», *télévision* n'a aucun espace de signification commun avec *femme* et *regarder* en tant que tel, au sens strict des espaces de signification³¹.

³⁰ PÉCHOUIN, D., *Thésaurus : des idées aux mots, des mots aux idées*, Paris, Larousse, 1995.

³¹ D'après ce que nous en donne Péchoin.

Tableau #4 : Sens strict des espaces de signification

Femme	Émotion	Manger
	227-A-Mouvement-Force(choc)	153-A-Espace-Structure(creux)
309-B-Être humains-Humains(femme)		322-B-Corps et Vie-Corps(dos)
315-B-Être humains-Humains(jeunesse)	343-B-Corps et Perceptions-Sensations(sensation)	330-B-Corps et Vie-Corps(dents)
	440-B-Affectivité-Caractères(sensibilité)	337-B-Corps et Vie-Fonction vitale(nutrition)
	451-B-Affectivité-Disposition d'esprit(enthousiasme)	547-B-Volonté-Occasion(difficulté)
600-C-Rapport-Sentiments(armour)	602-C-Rapport-Sentiments(passion)	628-C-Rapport hiérarchique-Autorité(soumission)
		703-C-Morale-Vertus et vices(intempérance)
682-C-Vie collective-Famille(mariage)		707-C-Morale-Vertus et vices(gloutonnerie)
		710-C-Morale-Vertus et vices(prodigalité)
848-C-Vie quotidienne-Habitat(maison)		848-C-Vie quotidienne-Habitat(maison)
		855-C-Vie quotidienne-Alimentation(repas)

Donc, la forme verbale ne peut, uniquement par le biais de son propre espace de signification, activer le tri dans les espaces de signification des deux substantifs. C'est donc que le verbe doit posséder une propriété opérative qui permet ce tri. Les travaux de Willems³² ont largement démontré que tel type de catégorie sémantique de verbe commande obligatoirement telle catégorie sémantique, tant pour le sujet que pour le complément. Par exemple, pour le verbe *laver*, il est possible de dire «*je me lave les pieds*», tandis qu'il est impossible de dire «*je me lave la voiture*»³³. Ainsi, dans sa forme pronominale, le verbe *laver*³⁴ n'accepte que ce qui est relatif aux parties du corps.

Dans plusieurs langues, le verbe définit également d'autres mécanismes : marquer la direction temporelle, indiquer le nombre et signifier la personne. Dans certaines langues,

³² WILLEMS, D., *Syntaxe, lexique et sémantique : contribution à une sémantique linguistique du verbe français*, Gent, Rijksuniversiteit te Gent, 1981, 275 p.

³³ Il existe dans le langage populaire l'expression *Je vais me la laver cette maudite voiture!* Bien que cette phrase soit grammaticale en un certain sens elle ne possède pas la structure agrammaticale que nous proposons ici puisque elle commence par une intention et que le verbe *laver* est à l'infinitif.

³⁴ D'autres verbes ayant les mêmes espaces de signification commandent également le même comportement (ex : nettoyer, rincer, récurer, etc...).

ces propriétés opératives seront marquées par d'autres particules grammaticales³⁵. Mais pour le moment, ce qui nous intéresse, c'est l'aspect de tri qu'effectue la forme verbale dans les espaces de signification des substantifs. À partir des descriptions précédentes, la lexis s'exprimera alors sous la forme <mangeait/femme/émotions> et les relations de ξ_0 et ξ_1 avec le prédicat π permettent la fondation d'un domaine de sens et donc de référence. D'après le tableau précédent, ce que $\pi(\text{manger})$ commande pour $\xi_0(\text{femme})$ c'est [309, 315] ; ce que $\pi(\text{manger})$ commande pour $\xi_1(\text{émotion})$ c'est [343] ; ce que $\xi_0(\text{femme})$ commande pour $\xi_1(\text{émotions})$ et vice-versa c'est [600]. Donc,

dès l'origine, les trois places < ξ_0 , ξ_1 , π > vont avoir une signification les unes par rapport aux autres, du seul fait que π représente la place de la relation entre les places 0 et 1 et que cela va engendrer au moins trois types de couples de places «significatives» : (ξ_0 - π) ; (ξ_1 - π) ; (ξ_0 - ξ_1). Et c'est cette «pré-signification» au sens relationnel, qui va s'assurer tous les engendrements de la lexis³⁶.

Mais la question de savoir qu'elle est la nature précise de l'orientation énonciative reste encore toute entière :

Le schéma de lexis correspondrait donc bien en définitive, à «la conjonction d'une forme et d'un contenu», mais encore indéterminée, à savoir : non orientée par le projet qu'un sujet assigne à ce qu'il énonce.³⁷

Comment est-il alors possible de la préciser ? Nous voyons bien que la notion de lexis est vraiment équivalente d'une fonction de structuration au sens même du constructivisme, où une connaissance acquise peut être remise en cause et modifiée par une opération

³⁵ BENVÉNISTE, E., *Linguistique générale*, Tome I, coll. Tel, Paris, Gallimard, 1996, p.225-236.

³⁶ Ibid., p.104.

³⁷ Ibid., p.104.

d'adaptation. C'est pourquoi nous préférerons le formalisme de la fonction de structuration $f(x,y)$ à celui de lexis.

On voit bien comment se différencie le substantif par rapport au verbe. Le contexte³⁸ est un élément essentiel, sinon fondamental du processus de sélection. Seul le contexte peut nous permettre de soulever les ambiguïtés sémantiques; il est donc seul apte à nous fournir un schéma énonciatif approprié et pertinent. D'une certaine façon, dans les langues indo-européennes, le verbe est contextualisant. C'est lui qui permet de circonscrire les immenses espaces de signification que possèdent les substantifs. À l'instar de l'influx nerveux au niveau d'un neurone, le verbe enclenche un processus opératoire qui conduira à la construction d'un schéma énonciatif. En fait, nous l'avons mentionné à plusieurs reprises, il y a solution de continuité depuis le biologique jusqu'au symbolique. Et, *a priori*, nous n'avons aucune raison de ne pas poursuivre cette démarche³⁹. Posons-nous pour le moment la question suivante: comment émerge un schéma énonciatif qui serait la résultante de $f(x,y)$. Il nous suffira ici de reprendre notre démonstration du chapitre 4 sur les processus opératoires mais en y ajoutant des éléments propres aux arguments x et y de f où le contexte correspondra à la phrase *le chat boit le lait* et où le verbe *boire* deviendra f , car dans tout contexte il existe un élément de celui-ci qui sert de fonction applicative.

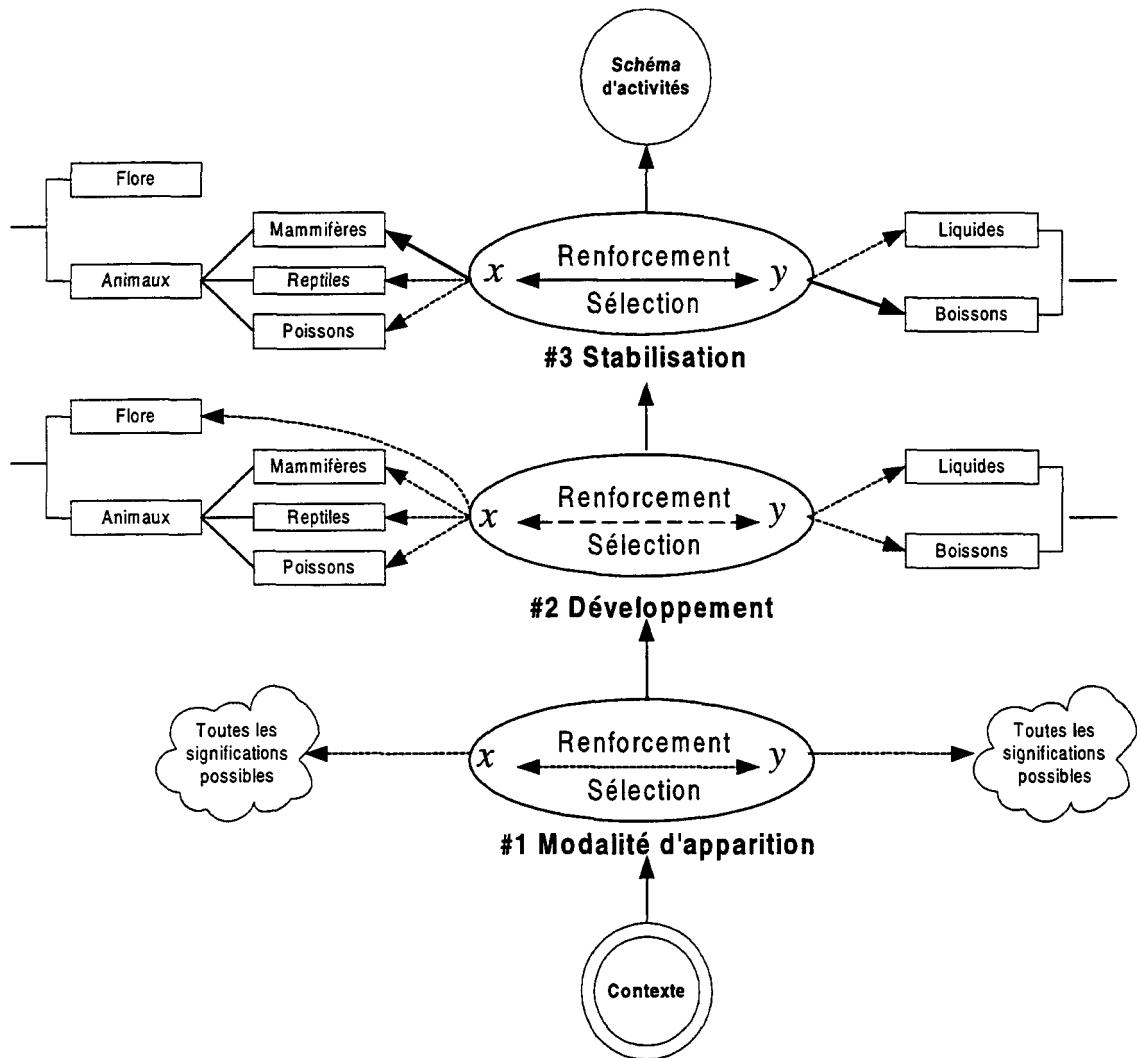
1. **Apparition** (quantification universelle). L'apparition d'un processus opératoire sera toujours initialisée par un contexte ou, si nous préférions, un schéma d'activités quelconque. On dira alors $(\forall x)(\forall y)f(x,y)$, ce qui signifie

³⁸ La pragmatique, une branche de la linguistique, s'intéresse particulièrement à cet aspect de la production du langage plongé dans des contextes donnés.

³⁹ D'aucuns, par contre, demanderont : *à quoi servent les autres symboles qui ne sont ni substantifs ni verbes?* Nous reviendrons un peu plus loin sur ce point.

que tout x et tout y peuvent potentiellement vérifier f . On parlera alors de quantification universelle. Une opération de sélection commencera tout d'abord par sélectionner globalement dans l'ensemble de tous les x et y disponibles ceux qui pourraient être les plus appropriés au schéma d'activités initialisateur.

Figure #3 : Montée en abstraction



2. **Développement** (quantification existentielle). Le développement du processus opératoire quant à lui se poursuivra en fonction des schémas d'activités de l'apparition. Il y aura ici sélection parmi un crible de variantes de schéma d'activités particulières, lesquelles variantes seront les plus aptes à le traiter, conduisant par le fait même à un renforcement de la réponse d'un groupe de schémas d'activités. Dans le cas présent, x sélectionnera le domaine notionnel des *animaux* et y celui des *liquides* et *boissons*. On dira

alors $(\forall x) (\forall y) (\exists x) (\exists y) f(x,y)$, ce qui signifie que pour tout x et pour tout y il existe au moins un x et un y qui vérifie f . On parlera de quantification existentielle.

3. **Stabilisation** (quantification singulière). La stabilisation du processus opératoire s'effectuera lorsqu'une réponse adéquate semblera émerger par la sélection de schéma d'activités très ciblés et spécifiques et répondant au mieux possible au schéma d'activités initialisateur. Les liens seront alors renforcés, ce qui permettra, dans le cas d'un schéma d'activités inconnu ou quasi inconnu, d'être intégré dans un schéma d'activités spécifique qui participera alors à l'ensemble de tous les schémas d'activités. Dans le cas présent, pour x le schéma des *mammifères* sera sélectionné et renforcé, tandis que pour y ce sera celui des *boissons*. On dira alors que $(\forall x) (\forall y) (ix) (iy) f(x,y)$, ce qui signifie que pour tout x et tout y il n'existe qu'un seul x et un seul y qui vérifie f . On parlera d'une quantification singulière.

Notre exemple au niveau des catégories n'est pas, on le comprendra, représentatif de la réalité. Il s'agit d'un exemple pour nous faire comprendre le processus. Par contre, le lecteur aura vite fait de percevoir la portée d'un tel modèle pour des applications technologiques. Au prochain chapitre nous démontrerons comment il est possible de parvenir à une telle implémentation. Mais pour le moment, imaginons un instant un automate linguistique qui devrait catégoriser automatiquement de nouveaux mots, qu'ils soient dans la position x ou y . Par le biais de ces réseaux de sens que constituent les zones de significations et par le biais de ces réseaux contextuels que constituent les verbes, et comme il s'agit d'une structure asymétrique, il devient simple d'interchanger chaque membre de l'équation. Par exemple : 1° si le nouveau mot est en position x , alors il suffit de se demander quel est le contexte déterminé et par conséquent la zone de signification appropriée pour y . Par le fait même, on obtiendra une zone hautement probable dans laquelle pourrait se situer le nouveau mot; 2° si le nouveau mot est en position y , alors il

suffit de se demander quel est le contexte déterminé et par conséquent la zone de signification appropriée pour x . Par le fait même, on obtiendra une zone hautement probable dans laquelle pourrait se situer le nouveau mot.

5.6 Le rôle des symboles

Nous nous sommes rendus compte que le verbe, comme élément relatif au contexte, est un opérateur et correspond à f . Le verbe ne peut se comporter comme un autre symbole. Dans les langues indo-européennes, on peut en déduire que les substantifs représentent les espaces de signification x et y , et le verbe, une fonction opérant sur ceux-ci. Mais qu'en est-il des adjectifs, des adverbes, des prépositions, des conjonctions, du temps, de la personne et du genre? Ce sont des opérateurs et correspondent à f . Les langues, en surface, utilisent ou non, parfois de façon différente, différentes propriétés telles le genre, le nombre, le temps, la personne, l'adjectif, l'article, l'adverbe, la préposition et la conjonction. Par exemple, en russe on n'utilise pas l'article. En anglais on n'utilise pas le genre au niveau des substantifs. Et on pourrait continuer ainsi longtemps à faire le décompte des utilisations ou de la non utilisation des différentes parties du discours dans les langues indo-européennes. Ce qui nous amène à penser que les symboles pourraient se voir attribuer des propriétés que les langues exploitent ou non. Par exemple, les adjectifs, les adverbes, le genre et le nombre modifient les contours des symboles que sont les substantifs. Les adverbes, le temps et la personne modifient les contours contextuels des symboles que sont les verbes. Elles en font ce que ce symbole, le verbe, est, c'est-à-dire un élément contextualisant ou fonction f .

Il se peut, et c'est une hypothèse, que les langues naturelles n'exploitent pas pleinement toutes les propriétés des symboles au même titre que la vue chez l'être humain n'exploite qu'une partie du spectre lumineux. Le fait que les langues, en surface, se comportent différemment est peut-être un argument qui étaie la chose. Par exemple, le fonctionnement de langues telles le mandarin ou le cantonnais souligne cette particularité⁴⁰. Le fait que ces langues exploitent d'autres propriétés du symbole empêche presque systématiquement toute traduction univoque vers une langue occidentale, ce qui a pour effet de ne permettre qu'une seule interprétation parmi plusieurs autres. Comme le disait Spencer-Brown, «*ces langues sont pictoriales, très poétiques tout en étant à la fois très mathématiques, sans grammaire ni partie identifiable du discours.*»⁴¹

Un autre exemple intéressant est celui que Hoijer avait mis en évidence : la langue apache par rapport à l'anglais cible différents aspects d'un même contexte. *Dripping Springs*, un toponyme, réfère à un endroit du Nouveau Mexique où l'eau d'une chute rebondit sur un escarpement et tombe en gouttelettes dans un petit bassin de rétention un peu plus bas. Ce toponyme anglais, à l'évidence, décrit une partie de la scène, à savoir le mouvement de l'eau. Le terme apache *tonoogah*, au contraire de *Dripping Spring* qui est une structure nominale, procède plutôt d'une structure verbale et met en perspective un tout autre aspect de la scène. La particule *to* signifie *eau* et précède le verbe *noogah* qui signifie *la blancheur de l'eau qui s'étend sur le sol*. C'est une référence au fait qu'une certaine quantité de sédiment calcaire est déposée par l'eau en mouvement sur l'escarpement sur

⁴⁰ Il serait intéressant ici d'approfondir la chose en s'appuyant sur les travaux d'autres linguistes.

⁴¹ SPENCER-BROWN, G., *Laws of form*, New-York, Julian Press, 1972.

lequel elle rebondit ce qui a pour effet d'augmenter la masse de l'escarpement. Cet exemple illustre bien que les langues n'exploitent qu'une partie du spectre symbolique. On pourrait très bien imaginer une langue dont une particule grammaticale correspondrait aux odeurs! Le lecteur aura compris que cette exploitation est à la base même des différences de la représentation de la réalité. Le philosophe John Searle a d'ailleurs bien cerné ce problème en disant que notre conception de la réalité est relative à nos catégories linguistiques :

«Je ne dis pas que le langage crée la réalité. Loin de là. Je dis plutôt que ce qui vaut comme réalité – ce qui vaut pour un verre d'eau, un livre ou une table, vaut pour le même verre, un livre différent ou deux tables – est une question de catégories linguistiques que nous imposons au monde [...] De plus, lorsque nous expérimentons le monde, nous l'expérimentons au travers de catégories qui permettent de formuler nos expériences elles-mêmes. Le monde ne nous est pas donné déjà tout découpé en objets et expériences; ce qui correspond à un objet est toujours fonction de notre système de représentation, et la perception du monde à travers nos expériences est influencée par ce système de représentation. L'erreur est de supposer que l'application du langage au monde consiste à attacher des étiquettes aux objets qui sont, par définition, auto-signifiantes. Selon mon point de vue, le monde se définit de la façon dont nous le divisons.»⁴²

Et nous constatons que notre modèle a l'avantage de faire abstraction de toute structure de surface en langue. Mais il permet aussi l'introduction de toutes les possibilités d'une langue comme nous l'avons démontré au tableau précédent. À la limite, pour l'ensemble des langues indo-européennes, en disposant d'un réseau associatif de type neuronal et constructiviste et en appliquant $f(x,y)$, il serait possible de concevoir un système automatisé capable d'identifier n'importe lequel schéma énonciatif.

⁴² SEARLE, J., *Intentionality : An Essay in the Philosophy of Mind*, Cambridge, Cambridge University Press, 1983.

5.7 Le schéma énonciatif ou lexis

La position constructiviste vise à concevoir des modèles plongés dans des environnements réels interagissant avec les multiples niveaux de leur environnement. En ce sens, le texte est considéré comme un environnement réel, factuel, possédant différents niveaux⁴³. La position constructiviste s'intéresse également à l'extraction des connaissances de chacun des niveaux de l'environnement afin d'appréhender celui-ci dans sa globalité par sélections, structurations, adéquations et adaptations pour conduire à une montée en abstraction. L'objectif est de pouvoir exploiter cette connaissance afin que les modèles soient dotés de la plus grande autonomie possible face à leur environnement. Et nous pensons que $f(x,y)$ dont nous faisons présentement la description et la démonstration est constitutive du constructivisme. Vu sous cet angle, nous sommes en mesure de constater qu'il semble se dessiner, au sens de la terminologie culiolienne, une montée des opérations énonciatives partant d'un niveau pré-lexical pour aboutir à un niveau textuel global. Donc,

seule une «linguistique des opérations»⁴⁴ permet effectivement de travailler sur ce qui fait «passage» d'un état à un autre et comment, de la sorte, il est possible au langage comme «système» d'être «cette incessante mise en relation (prédication, énonciation), grâce à quoi des énonciateurs, en tissant un jeu structuré de références, produisent un surplus d'énoncés et repèrent une pluralité de significations.»⁴⁵ Ici, ce qui fait passage d'un état à un autre,

c'est justement le niveau de la structuration, de la construction effectuée à chaque niveau, tant par l'apparition, le développement et la stabilisation d'un processus opératoire.

⁴³ Et qui dit niveau, dit montée en abstraction au sens constructiviste.

⁴⁴ Et c'est que permet la fonction $f(x,y)$, à savoir une linguistique des opérations.

⁴⁵ VIGNAUX, G., *Le discours acteur du monde*, Paris, Ophrys, 1988, p.97.

Cela veut dire qu'une première nécessité revient à se donner un cadre initial suffisamment souple et général, tel qu'il puisse attester progressivement des différents «étages» de la représentation qu'on veut établir de ces «opérations du système du langage» : depuis une «forme initiale» jusqu'à la surface,⁴⁶ et $f(x,y)$ représente ce cadre.

La fonction $f(x,y)$ opère à différents «étages», du biologique au symbolique et engendre ce processus de construction qu'est le langage.

Nous sommes toujours en présence de «niveaux de fonctionnement» du langage, toujours déterminés alors, en regard de compétences, de circonstances et finalités et que donc, quel que soit le niveau identifiable (en regard des circonstances ou du «propos»), de tels fonctionnements du langage supposent bien à chaque fois, la présence de règles.⁴⁷

Et ces règles que sont la sélection et le renforcement dans x et y , cette incessante mise en relation⁴⁸, se retrouvent justement dans la fonction $f(x,y)$.

Il va sans dire qu'après avoir vérifié les fondements de $f(x,y)$, il nous faut maintenant passer à une autre étape et voir comment il est possible d'implémenter celle-ci au sein d'une technologie. Pour ce faire, nous devrons imaginer un réseau neuronal vierge qui peut apprendre de lui-même à partir de contextes que sont les phrases et d'établir lui-même ses propres catégories. C'est ce que le prochain chapitre prétend démontrer.

⁴⁶ Ibid., p.95.

⁴⁷ Ibid., p.95.

⁴⁸ Ibid., p.95.

Chapitre 6

Application et émergence de $f(x,y)$

6.1 Introduction

Nous avons montré comment le cerveau pourrait en arriver à générer des catégories perceptives par le biais de processus opératoires commandés par $f(x,y)$. Ce que nous n'avons pas par contre expliqué, c'est comment émerge justement $f(x,y)$ car, ne l'oublions pas, de notre position non déterministe et non innéiste, $f(x,y)$ n'est pas donnée.

Pour les fins de notre démonstration, nous représenterons l'ensemble des neurones du cerveau et l'ensemble des mots en énonciation sous la forme d'un graphe orienté¹. Il va sans dire que si nous établissions tant le graphe orienté intégral de toutes les connexions des neurones du cerveau ou de toutes les connexions des mots de l'énonciation, il deviendrait rapidement tout à fait incompréhensible. Mais, il n'en reste tout de même pas moins que l'on peut voir ce schéma neuronal ou énonciatif comme un graphe orienté; un graphe orienté complexe certes, mais un graphe orienté tout de même.

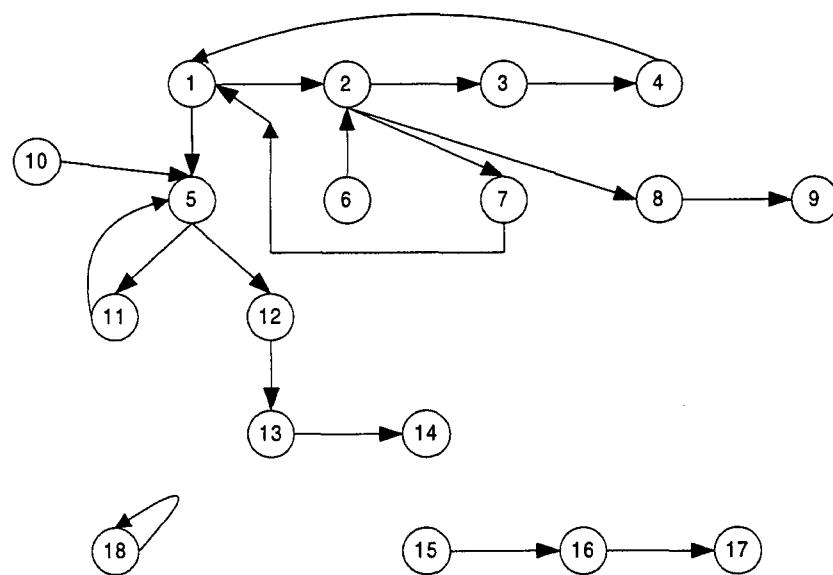
¹ Nous ne prétendons pas ici qu'un graphe orienté représente un schéma interconnecté de neurones. Il s'agit plutôt d'un moyen pour les fins de notre démonstration.

Dans notre démarche, tout à fait en phase avec notre position ensembliste, nous considérerons, du côté du cerveau, les nœuds du graphe comme des neurones et les vecteurs comme des axones, et du côté de l'énonciation nous considérerons les nœuds du graphe comme des mots et les vecteurs comme des liens paradigmatiques. Cette façon de faire nous permettra d'obtenir un vocabulaire plus approprié pour une description plus formaliste. Par induction, nous tenterons de dégager des lois, des axiomes et des règles qui régissent de tels systèmes. En fait, ce que nous désirons démontrer, c'est qu'une montée en abstraction s'effectue de l'universel en passant par l'existential pour aboutir au singulier par le biais de $f(x,y)$, laquelle fonction émerge de systèmes complexes.

6.2 Notion de graphe orienté sur un système fermé

Considérons, dans un premier temps, un graphe orienté relatif à un système fermé et non un système ouvert comme l'est celui des neurones ou de l'énonciation :

Figure #4 : Graphe orienté d'un système fermé



La relation binaire représentée par ce graphe orienté est un ensemble de paires $\{(1,2) (1,5) (2,3) (2,7) (2,8) (8,9) (3,4) (4,1) (5,11) (5,12) (11,5) (7,1) (10,5) (12,13) (13,14) (15,16) (16,17) (18,18)\}$. Nous dirons que ce graphe ou ses relations représentent une relation de type *est associé à* portant sur un ensemble de nœuds.

Définition : l'ensemble de toutes les paires de relation $G = (V, N)$ est un graphe orienté si $N \subseteq V \times V$. Les éléments de V sont dits des vecteurs et les éléments de N des nœuds. Un nœud (x, y) est dit de x vers y et est représenté par une flèche partant de x vers y . S'il y a un nœud dans N de x vers y nous dirons que x est adjacent à y .

Par exemple, le nœud $(1,2)$ est un vecteur de 1 vers 2. Le nœud $(1,2)$ est incident de 1 et le nœud $(2,3)$ est incident de 2 et ainsi de suite. Donc, pour tout graphe orienté (V, N) , N est une relation binaire sur V . Par ailleurs, chaque relation binaire $R \subseteq A \times B$ peut aussi être considérée comme un graphe orienté $G = (A \cup B, R)$. En ce sens, la notion de relation binaire sur un ensemble et la notion de graphe orienté sont équivalentes, ce qui nous permet de confirmer notre position ensembliste.

De ce graphe, on peut extraire des sous-graphes. Par exemple, $\{ (6,2) (2,8) (8,9) \}$ est un sous-graphe du graphe orienté en autant que :

Définition : un graphe $G^l = (V^l, N^l)$ est un sous-graphe du graphe $G = (V, N)$ si $V^l \subseteq V$ et que $N^l \subseteq N \cap (V^l \times V^l)$. G^l est un sous-graphe valide si $G^l \neq G$.

On constate donc que l'on peut effectuer différentes opérations sur un graphe à partir des

relations binaires. Et si on peut effectuer des opérations, c'est que les relations binaires doivent posséder des propriétés qui rendent la chose possible. Ces propriétés nous permettront d'effectuer un travail qui rendra compte de la nature des relations qu'entretiennent entre eux les nœuds du graphe.

- | | | |
|---------------------|-------------------|---------------------------------------|
| 1. Transitivité | $\forall x, y, z$ | si $x R y$ et $y R z$, alors $x R z$ |
| 2. Réflexivité | $\forall x$ | $x R x$ |
| 3. Irréflexivité | $\forall x$ | $X \neq R x$ |
| 4. Symétrie | $\forall x, y$ | Si $x R y$, alors $y R x$ |
| 5. Antisymétrie | $\forall x, y$ | Si $x R y$ et $y R x$, alors $x = y$ |

Établissons maintenant quelques sous-graphes pour démontrer ces relations :

Transitivité : une relation est transitive en autant que $\forall x, y, z$ si $x R y$ et $y R z$, alors $x R z$. Autrement dit, si pour chaque vecteur x, y et z il y a un nœud de x vers y et de y vers z , alors il existe une relation entre x et z . Le sous-graphe $\{(15,16) (16,17)\}$ décrit une relation transitive.

Réflexivité : une relation est réflexive en autant que $\forall x, x R x$. Autrement dit, si un vecteur possède un nœud et revient sur lui-même, à savoir une boucle, alors il s'agit d'une relation réflexive. Le sous-graphe $\{(18,18)\}$ décrit une relation réflexive.

Irréflexivité : une relation est irréflexive si $\forall x, x \neq R x$. Autrement dit, si aucun des noeuds n'a de boucle réentrant, alors il s'agit d'une relation irréflexive. Le sous-graphe $\{(10,5) (5,11) (11,5)\}$ décrit une relation irréflexive.

Symétrie : une relation est symétrique en autant que $\forall x, y \text{ si } x R y, \text{ alors } y R x$.

Autrement dit, si pour chaque nœud un vecteur pointe vers un autre nœud et que de cet autre nœud pointe un vecteur vers chaque nœud, alors il s'agit d'une relation symétrique. Le sous-graphe $\{(5,11) (11,5)\}$ décrit une relation symétrique.

Antisymétrie : une relation est antisymétrique en autant que $\forall x, y \text{ si } x R y \text{ et } y R x, \text{ alors } x = y$. Autrement dit, si deux nœuds sont non adjacents et ont un vecteur qui les relient, alors il s'agit d'une relation antisymétrique. Le sous-graphe $\{(1,2) (2,3) (3,4) (4,1)\}$ décrit une relation antisymétrique.

6.3 Règles de connectivité

Nous avons constaté que les relations qu'entretiennent entre eux les nœuds d'un graphe peuvent nous apprendre certaines choses intéressantes. Par exemple, on peut dire que (5,11) et (11,5) exprime une relation où la cause est la fois l'effet et vice-versa. Bien que les propriétés des relations nous permettent de comprendre la nature des relations du graphe, ce qui importe, au delà des propriétés de celles-ci, c'est la connectivité inhérente à un graphe. Pour ce faire, nous aurons besoin de règles qui nous expliquent comment les nœuds d'un graphe s'interconnectent; nous dirons donc que deux nœuds dans un graphe sont connectés si au moins un chemin les relie et que ce chemin répond au moins à l'une des règles suivantes :

Règle #1 : un chemin dirigé dans un graphe $G = (V, N)$ est une séquence de zéro ou plus de nœuds n_1, \dots, n_n de N en autant que pour chaque $2 \leq i \leq n$, n_{i-1} est un vecteur duquel n_i provient; n_i peut alors s'écrire (v_{i-1}, v_i) pour chaque $1 \leq i \leq n$.

Un tel chemin est dit de v_0 vers v_n et sa longueur est de n . Dans un tel cas, v_0 et v_n sont les points terminaux du chemin.

Règle #2 : un chemin non dirigé dans un graphe $G = (V, N)$ est une séquence de zéro ou plus de nœuds n_1, \dots, n_n de N pour lequel il existe une séquence de vecteurs v_0, \dots, v_n en autant que $e_i = (v_{i-1}, v_i)$ ou $e_i = (v_i, v_{i-1})$ pour chaque $1 \leq i \leq n$.

Règle #3 : un chemin est simple si tous les nœuds et vecteurs sur un chemin sont distincts, sauf que v_0 et v_n peuvent être égaux.

Règle #4 : un chemin de longueur ≥ 1 sans aucune répétition de nœuds et dont les points terminaux sont égaux est un circuit.

Posons-nous maintenant la question suivante : existe-t-il un chemin entre le nœud 6 et le nœud 11? Selon le graphe orienté, nous devons partir du nœud 6 pour se rendre au nœud 11. Nous obtiendrons alors un chemin dirigé formé des relations binaires suivantes : $\{(6,2)$ $(2,3) (3,4) (4,1) (1,5) (5,11)\}$. On peut donc établir un chemin dirigé depuis le nœud 6 jusqu'au nœud 11 selon la règle #1 et dont la nature de la relation qu'entretiennent entre eux les nœuds est transitive. On pourrait ainsi établir différents chemins pour lesquels s'appliqueraient l'une des quatre définitions aussi bien que l'une des cinq propriétés décrivant la nature des relations qu'entretiennent entre eux les nœuds.

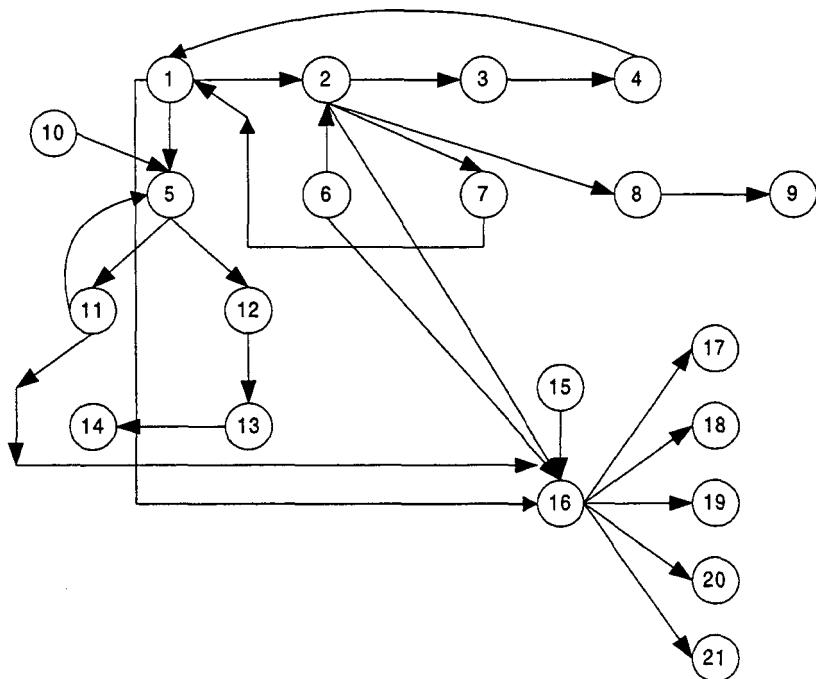
À partir de ces règles de base qui régissent un graphe orienté représentant un système fermé, effectuons maintenant un saut à la fois qualitatif et quantitatif vers un système ouvert apte à apprendre, s'adapter et s'autoréguler par rétroaction.

6.4 Graphe orienté d'un système ouvert

Nous avons considéré, depuis le début de ce chapitre, un graphe orienté représentant un

système fermé. Nous avons pu en dégager certains propriétés et règles qui nous seront très utiles pour la description d'un système ouvert. À la différence d'un système fermé, un système ouvert peut évoluer : ajout de nouveaux nœuds, ajout de vecteurs, constructions de nouveaux chemins, etc. Le système ouvert peut s'autoréguler, apprendre et s'adapter aux nouvelles situations. Transformons notre système fermé en système ouvert en y ajoutant de nouveaux nœuds et de nouveaux vecteurs, tout comme la chose, par analogie, peut se produire dans le cerveau où des connexions synaptiques sont renforcées et où certains neurones sont plus connectés que d'autres et où de nouveaux neurones peuvent se former.

Figure #5 : Graphe orienté d'un système ouvert



Comment pourrait-on percevoir et interpréter ce nouveau graphe? Imaginons un instant, par analogie, le cerveau d'un très jeune enfant confronté à l'apprentissage de son univers immédiat. De façon régulière il entend des phrases telles que : *bois ton lait, il faut que tu boives ton jus car c'est bon pour la santé, ton oncle a bu trop de vin, maman boit de la*

tisane, ton chien boit de l'eau, ton chat aime boire du lait. Graduellement, le cerveau de l'enfant apprend à détecter les composants et les propriétés des phrases entendues. Le cerveau enregistre des mots individuels, l'ordre des mots, la signification des mots en fonction du contexte, de l'intonation, de la structure syllabique des mots, du sens général des phrases, des indicateurs pragmatiques servant à l'interprétation des phrases dans des contextes donnés, etc. Tous ces phénomènes ne sont finalement que cette capacité à corréler toutes ces choses entre elles et d'effectuer des recouplements.

Ce qui est le plus étonnant, c'est que de tous ces processus et de toutes ces interconnections, l'enfant en arrive à une compréhension implicite des catégories grammaticales et des règles de syntaxe. Le problème est de savoir comment un enfant peut déterminer l'ordre relatif des noms et des verbes sans pour autant *a priori* savoir ce qu'est un verbe et ce qu'est un nom? En fait, cette question est mal formulée car elle implique que quelque part, il existe des règles innées qui permettraient de comprendre la chose, ce qui est tout à fait en opposition avec notre position non déterministe. Ce qu'il faut plutôt supposer, c'est qu'un système complexe hautement interconnecté est à la fois représentation de la connaissance et mécanisme de la connaissance où aucune règle n'est nécessaire tant pour l'un que pour l'autre. Le système se suffit à lui-même tout en étant en constante interaction et constante adéquation avec le monde extérieur. Au cours des chapitres précédents nous avons démontré que $f(x,y)$ permet d'obtenir à la fois des catégorisations perceptives au niveau neuronal et à la fois des catégories notionnelles au niveau symbolique. Ce qu'il faut

maintenant démontrer, c'est comment $f(x,y)$ émerge d'un réseau de type graphe orienté pour pouvoir générer des catégorisations.

6.5 L'émergence d'une fonction dans un système ouvert

Le nouveau graphe orienté représentant l'ajout de ces nouveaux nœuds et vecteurs qui auraient pu provenir d'un apprentissage quelconque nous démontre que le nœud 16 offre plus de connexions vers d'autres nœuds autant à l'entrée (5) qu'à la sortie (5) que d'autres nœuds. De ceci nous dégagerons, par induction, les axiomes suivants :

- Axiome #1 : Une fonction émerge du graphe en autant que son nœud offre à la fois une grande capacité connective entrante et sortante.
- Axiome #2 : L'ensemble des nœuds pointant vers une fonction relèveront au moins d'une catégorie.
- Axiome #3 : L'ensemble des nœuds en provenance d'une fonction relèveront au moins d'une catégorie.
- Axiome #4 : Lorsque les axiomes #1, #2 et #3 sont satisfaits et que l'on peut appliquer l'une des quatre règles de connectivité, alors il y a existence effective d'une fonction applicative.

Les axiomes ici présentés sont-ils en phase avec ce que nous avons déjà décrits en ce qui concerne $f(x,y)$? Il nous faut donc également démontrer que les axiomes posés sont isomorphes aux processus opératoires, lesquels processus sont représentés par $f(x,y)$. Le tableau suivant nous démontre cet aspect d'isomorphisme entre processus opératoires et axiomes.

Tableau #5 : Processus opératoires et axiomes

Processus opératoire	Axiomes	Quantification
L'apparition correspond à $(\forall x)(\forall y) f(x,y)$, ce qui signifie que tout x et tout y peuvent potentiellement vérifier fs .	<u>Axiome #1</u> : Une fonction émerge du réseau associatif en autant que sa distribution dans le réseau offre à la fois une grande capacité connective entrante et sortante.	Universelle
Le développement correspond à $(\forall x)(\forall y)(\exists x)(\exists y) f(x,y)$, ce qui signifie que pour tout x et pour tout y il existe au moins un x et un y qui vérifie fs .	<u>Axiome #2</u> : l'ensemble des nœuds pointant vers une fonction relèveront au moins d'une catégorie. <u>Axiome #3</u> : L'ensemble des nœuds en provenance d'une fonction relèveront au moins d'une catégorie.	Existentielle
La stabilisation correspond à $(\forall x)(\forall y)(\exists x)(\exists y) f(x,y)$, ce qui signifie que pour tout x et tout y il n'existe qu'un seul x et un seul y qui vérifie fs .	<u>Axiome #4</u> : Lorsque les axiomes #1, #2 et #3 sont satisfaits et que l'on peut appliquer l'une des quatre règles de connectivité, alors il y a existence effective d'une fonction applicative.	Singulière

Trois lois peuvent se dégager de l'ensemble de nos observations en ce qui concerne l'émergence d'une fonction :

Loi #1 : Une fonction n'a de validité qu'en fonction du système dans lequel elle s'applique.

Loi #2 : L'existence d'une fonction n'est possible que si l'on peut appliquer sur celle-ci des axiomes qui la font émerger.

Loi #3 : Une fonction décrit un mode d'interaction entre les éléments d'un système et est par conséquent applicative.

Ces lois, axiomes et règles décrivent, dans notre position ensembliste, un fonctionnement de l'ensemble des neurones du cerveau. C'est-à-dire que nous considérons ce graphe comme étant à la fois connaissance perceptive et mécanisme de construction de cette même connaissance perceptive par l'émergence de $f(x,y)$, laquelle construit des catégorisations perceptives. De ce graphe émergera un schéma lexical primitif nommé lexis.

6.6 Preuve de l'invariance d'échelle

Nous avons déjà postulé que le processus opératoire est invariant d'échelle, c'est-à-dire qu'il peut s'appliquer à tous les niveaux, tant biologique, que neuronal, que symbolique. Le tableau suivant nous démontre fort bien comment $f(x,y)$ ou processus opératoire fonctionne de la même façon tant au niveau neuronal qu'au niveau énonciatif.

Tableau #6 : Comparatif neuronal/énonciatif

Niveau neuronal	Niveau énonciatif
<p>Apparition (quantification universelle): dès qu'un influx nerveux est amené au niveau d'un neurone, «des changements moléculaires surviennent à l'intérieur des cellules nerveuses et au niveau de leurs zones de contacts.»² L'apparition d'un processus opératoire est déclenché par un influx nerveux acheminé par les organes sensoriels et conduit à un changement moléculaire au niveau interne de la cellule et entraînant par le fait même un renforcement synaptique. Donc, $(\forall x)(\forall y) f(x,y)$ se vérifie si on dispose de tous les x et y et où x et y représentent l'ensemble de tous les groupes de neurones.</p>	<p>Apparition (quantification universelle). L'apparition d'un processus opératoire sera toujours initialisé par un contexte ou, si nous préférons, un schéma d'activités quelconque. On dira alors $(\forall x)(\forall y) f(x,y)$, ce qui signifie que tout x et tout y (substantifs) peuvent potentiellement vérifier fs (verbes). On parlera alors de quantification universelle. Une opération de sélection commencera tout d'abord par sélectionner globalement dans l'ensemble de tous les x et y disponibles ceux qui pourraient être les plus appropriés au schéma d'activités initialisateur.</p>
<p>Développement (quantification existentielle): «le stimulus sélectionne des variantes particulières au sein de la population de groupes neuronaux. En effet la réponse d'un groupe est susceptible d'être amplifiée.»³ Le processus opératoire se développe par un phénomène de sélection, à savoir de choisir parmi un crible de variantes neuronales particulières lesquelles variantes seront les plus aptes à traiter le signal en fonction du contexte, conduisant par le fait même à un renforcement de la réponse d'un groupe neuronal en fonction de ce signal soit. Donc, $(\forall x)(\forall y)(\exists x)(\exists y) f(x,y)$ se vérifie s'il existe au moins x et un y où x et y représentent certains groupes de neurones.</p>	<p>Développement (quantification existentielle). Le développement du processus opératoire quant à lui se poursuivra en fonction des schémas d'activités de l'apparition. Il y aura ici sélection parmi un crible de variantes de schéma d'activités particulières, lesquelles variantes seront les plus aptes à le traiter, conduisant par le fait même à un renforcement de la réponse d'un schéma d'activités S. x (substantifs) pourrait sélectionner le schéma d'activités S^1 et y (substantifs) le schéma d'activités S^2 en autant que fs corresponde à un verbe. On dira alors $(\forall x)(\forall y)(\exists x)(\exists y) f(x,y)$, ce qui signifie que pour tout x et pour tout y il existe au moins un x et un y qui vérifie fs. On parlera de quantification existentielle.</p>
<p>Stabilisation (quantification singulière): «Comme ces connexions sont renforcées, il lui est possible de modifier l'intensité de ces liaisons avec d'autres groupes et, en entrant en compétition avec eux, d'intégrer leurs neurones dans sa propre activité ou schéma de réponse.»⁴ Pour sélectionner une activité ou schéma de réponse, l'intensité des liaisons avec</p>	<p>Stabilisation (quantification singulière). La stabilisation du processus opératoire s'effectuera lorsqu'une réponse adéquate semblera émerger par la sélection de domaines notionnels très ciblés et spécifiques et répondants au mieux possible au schéma d'activités initialisateur. Les liens seront alors renforcés ce qui permettra, dans le cas d'un</p>

² ROSENFIELD, I., *L'invention de la mémoire*, coll. Champs, Paris, Flammarion, 1994, p. 183.

³ Ibid., p.183.

⁴ Ibid., p.183.

<p>d'autres groupes seront renforcés, ce qui entraînera par le biais d'un renforcement de cette activité choisie une intégration d'un groupe de neurones dans son propre schéma de réponses. Donc, $(\forall x)(\forall y)(ix)(iy) f(x,y)$ se vérifie s'il existe un seul x et un seul y où x et y représentent un groupe de neurones.</p>	<p>schéma d'activités inconnu ou quasi inconnu, d'être intégré dans un schéma d'activités spécifique qui participera alors à l'ensemble de tous les schémas d'activités S. Dans le cas présent, pour x un sous-schéma de S^1 sera sélectionné et renforcé, tandis que pour y ce sera un sous schéma de S^2. On dira alors que $(\forall x)(\forall y)(ix)(iy) f(x,y)$, ce qui signifie que pour tout x et tout y il n'existe qu'un seul x et un seul y qui vérifie f_s. On parlera d'une quantification singulière.</p>
---	--

6.7 Application d'un graphe orienté à l'énonciation.

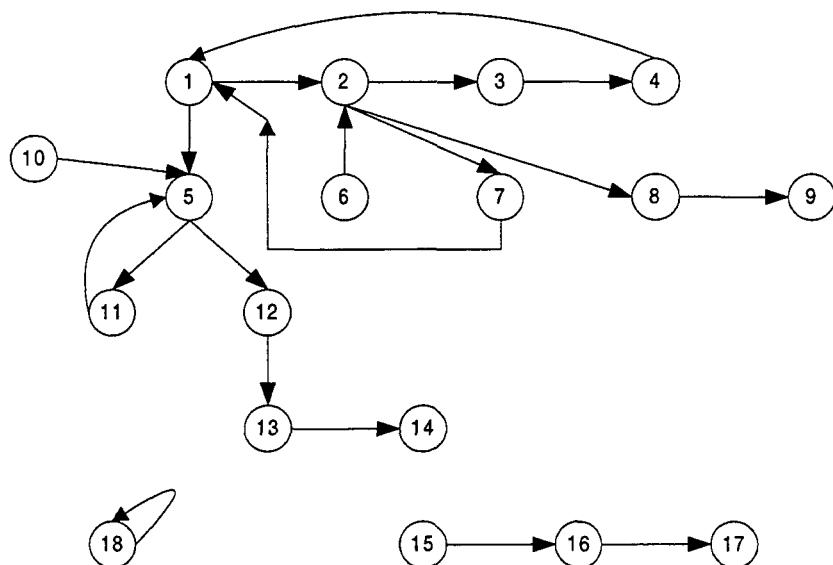
Premièrement, nous avons déjà déterminé que $f(x,y)$ est invariant d'échelle. C'est-à-dire que, peu importe le niveau où on se situe, $f(x,y)$ opère de la même façon dans des catégories asymétriques par sélection et renforcement. Considérons alors les cinq phrases suivantes :

- Le président Clinton a assisté au gala du président Moubarak.
- Hilary Clinton, la femme du président Clinton, a prononcé un discours.
- L'épouse de Moubarak, Tansu Moubarak, aide les pauvres de son pays.
- Le chat boit du lait.
- Arafat

À partir de ces cinq phrases, construisons un réseau associatif qui établira les connexions entre les différents éléments de chaque phrase tel que le démontre le tableau #1 et reportons-les dans un graphe orienté.

Tableau #7 : Application du graphe orienté d'un système ouvert

1	président	2	5	
2	Clinton	3	7	8
3	assisté	4		
4	Gala	1		
5	Moubarak	11		12
6	Hilary	2		
7	femme	1		
8	prononcé	9		
9	discours			
10	épouse	5		
11	Tansu	5		
12	Aide	13		
13	pauvre	14		
14	Pays			
15	Chat	16		
16	Boit	17		
17	Lait			

Figure #6 : Graphe orienté sur système ouvertValidité du graphe

1. L'ensemble de toutes les paires de relation $G = (V, N)$ est un graphe orienté si $N \subseteq V \times V$. La relation binaire représentée par ce graphe orienté est un ensemble de paires $\{(1,2) (1,5) (2,3) (2,7) (2,8) (8,9) (3,4) (4,1) (5,11) (5,12) (11,5) (10,5) (12,13) (13,14) (15,16) (16,17) (18,18)\}$. Ce graphe satisfait donc à la définition d'un graphe orienté.

2. Un graphe $G^l = (V^l, N^l)$ est un sous-graphe du graphe $G = (V, N)$ si $V^l \subseteq V$ et que $N^l \subseteq N \cap (V^l \times V^l)$. G^l est un sous-graphe valide si $G^l \neq G$. De ce graphe on peut extraire des sous-graphes. Par exemple, $\{(6,2) (2,8) (8,9)\}$ ou $\{(Hilary, Clinton) (Clinton, prononcé) (prononcé, discours)\}$ est un sous-graphe du graphe orienté et satisfait donc à la notion de sous-graphe. En ce sens, nous avons satisfait à la notion de sous-graphe.
3. Un sous-graphe doit posséder des propriétés telles que la transitivité, la réflexivité, l'irréflexivité, la symétrie et l'antisymétrie.
- Le sous-graphe $\{(15,16) (16,17)\}$ ou $\{(chat, boit) (boit, lait)\}$ décrit une relation transitive puisque $\forall x, y, z$ si $x R y$ et $y R z$, alors $x R z$.
 - Le sous-graphe $\{(18,18)\}$ ou $\{(Arafat, Arafat)\}$ décrit une relation réflexive puisque $\forall x, x R x$.
 - Le sous-graphe $\{(10,5) (5,11) (11,5)\}$ ou $\{(\épouse, Moubarak) (Moubarak, Tansu) (Tansu, Moubarak)\}$ décrit une relation irréflexive puisque $x \neq R x$.
 - Le sous-graphe $\{(5,11) (11,5)\}$ ou $\{(Moubarak, Tansu) (Tansu, Moubarak)\}$ décrit une relation symétrique puisque $\forall x, y$ si $x R y$, alors $y R x$.
 - Le sous-graphe $\{(1,2) (2,3) (3,4) (4,1)\}$ ou $\{(\président, Clinton) (Clinton, assisté) (assisté, gala) (gala, président)\}$ décrit une relation antisymétrique puisque $\forall x, y$ si $x R y$ et $y R x$, alors $x = y$.

Donc, les sous-graphes ici décrits correspondent bel et bien à la notion de propriétés relatives aux relations qu'entretiennent entre eux les nœuds d'un graphe. On peut donc en déduire que l'ensemble de tous les sous-graphes de ce graphe correspondent au moins à l'une des propriétés relatives aux relations qu'entretiennent entre eux les nœuds d'un graphe. En ce sens nous avons satisfait à la notion de propriété.

4. Pour affirmer que deux nœuds dans un graphe sont connectés, il faut au moins un chemin qui les relie. Par exemple, il existe un chemin depuis le nœud 6 jusqu'au nœud 11. Selon le graphe orienté, pour se rendre depuis le nœud 6 jusqu'au nœud 11 et en obtenir un sous-graphe, le chemin dirigé sera formé des relations binaires suivantes : $\{(6,2) (2,3) (3,4) (4,1) (1,5) (5,11)\}$ ou $\{(Hilary, Clinton) (Clinton, assisté) (assisté, gala) (gala, président) (président, Moubarak) (Moubarak, Tansu)\}$. On peut donc en déduire que l'on pourrait ainsi établir différents chemins de sous-graphes pour lesquels s'appliqueraient l'une des quatre définitions relatives aux chemins. En ce sens nous avons satisfait à la notion de chemin.

Maintenant que nous avons prouvé la validité du graphe en tant que tel, posons-nous la question suivante : *Hilary Clinton* a-t-elle déjà rencontré *Tansu Moubarak*? Selon le graphe orienté, nous devons partir du nœud 6 pour nous rendre au nœud 11. S'il y a transitivité et qu'on peut y arriver par un chemin menant du nœud 6 vers le nœud 11, alors il y a probabilité que *Hilary Clinton* ait déjà rencontré *Tansu Moubarak*. Le chemin menant de 6 à 11 sera formé des relations binaires suivantes : {(6,2) (2,3) (3,4) (4,1) (1,5) (5,11)} ou {(Hilary, Clinton) (Clinton, assisté) (assisté, gala) (gala, président) (président, Moubarak) (Moubarak, Tansu)}.

Bien que le nœud *rencontrer* n'existe pas, on peut supposer que *Hilary Clinton* a déjà rencontré *Tansu Moubarak* parce que le président Clinton a assisté à un gala offert par le président Moubarak et que *Hilary Clinton* est la femme du président Clinton et que *Tansu Moubarak* est l'épouse du président Moubarak. Si on accepte cet état de fait, c'est que le système pourrait établir de lui-même ce nouveau lien et créer un nouveau nœud *rencontrer* car, ne l'oublions pas, nous sommes dans une position de système ouvert et constructiviste où rien n'est donné *a priori*. Par contre, si on voulait savoir s'il existe une relation potentielle entre *Hilary Clinton* et les *pauvres*, le chemin irait du nœud 6 au nœud 13 et serait formé des relations binaires suivantes : {(6,2) (2,3) (3,4) (4,1) (1,5) (5,12) (12,13)} ou {(Hilary, Clinton) (Clinton, assisté) (assisté, gala) (gala, président) (président, Moubarak) (Moubarak, aide) (aide, pauvres) (pauvres, pays)}. Dans un cas comme dans l'autre, du nœud 6 au nœud 11, ou du nœud 6 au nœud 13, on ne peut mesurer le niveau de

validité de ce chemin potentiel. Comment alors circonvenir ce problème surtout que la théorie des graphes ne nous donne aucune solution à ce sujet?

1. Si le numéro du *nœud de départ* < numéro du *nœud d'arrivée* alors l'ensemble *A* sera établi à partir du nœud de départ et l'ensemble *B* à partir du nœud d'arrivée. Autrement, si le numéro du *nœud de départ* > numéro du *nœud d'arrivée* alors l'ensemble *A* sera établi à partir du nœud d'arrivée et l'ensemble *B* à partir du nœud de départ.
2. Établir un sous-ensemble *A* par chaînage avant récursif de toutes les connexions possibles pour le nœud effectif à *A* + 1 jusqu'à ce que revienne la séquence du nœud effectif à *A*.
3. Établir un sous-ensemble *B* par chaînage arrière récursif de toutes les connexions possibles pour le nœud effectif à *B* + 1 jusqu'à ce que revienne la séquence du nœud effectif à *B*.
4. Faire l'intersection de *A* et *B* pour obtenir un ensemble *C*.
5. Trier par ordre ascendant les éléments de *C*.
6. Le premier élément de *C* sera le point de jonction des deux ensembles *A* et *B*.
7. Si le point de jonction est le premier élément de l'ensemble *B*, alors la probabilité qu'il existe un lien direct entre le nœud de départ et le nœud d'arrivé est élevée.
8. Si le point de jonction s'éloigne de *n+1* par rapport au premier élément de *B*, plus la probabilité d'un lien direct entre le nœud de départ et le nœud d'arrivée faiblit d'autant.

Dans le cas du lien à établir pour *Hilary* et *Tansu* appliquons les huit règles :

1. Le numéro du nœud de *Hilary* étant plus petit que celui du numéro du nœud de *Tansu*, alors l'ensemble *A* sera établi à partir de *Hilary* et l'ensemble *B* à partir de *Tansu*.
2. $A = \{6,2,3,7,8,4,1,2,5\}$
3. $B = \{5,11,12,5\}$

4. $C = \{5\}$
5. $C = \{5\}$
6. $\{5\}$
7. Puisque le premier élément de l'ensemble C est le premier élément de l'ensemble B , alors il est possible de créer un nouveau nœud pour *rencontrer* et on peut établir un sous-graphe $\{(Hilary, rencontrer) (rencontrer, Tansu)\}$.
8. Ne s'applique pas.

Dans le cas du lien à établir pour *Hilary* et *pauvres* appliquons à nouveau les huit règles tout comme pour la démonstration antérieure :

1. Le numéro du nœud de *Hilary* étant plus petit que celui du numéro du nœud de *pauvre*, alors l'ensemble A sera établi à partir de *Hilary* et l'ensemble B à partir de *pauvre*.
2. $A = \{6,2,3,7,8,4,1,2,5\}$
3. $B = \{14,13,11,12,5\}$
4. $C = \{5\}$
5. $C = \{5\}$
6. $\{5\}$
7. Ne s'applique pas.
8. Puisque le premier élément de l'ensemble C n'est pas le premier élément de l'ensemble B , alors il n'est pas possible de créer un nouveau nœud pour *rencontrer*.

Ce nouvel aspect où tout se construit et où tout est en perpétuelle remise en question et adéquation, nous oblige à repenser les règles de connectivité pour établir des chemins

depuis un nœud n_x vers un nœud n_y . Nous définirons donc deux corollaires pour satisfaire aux règles de connectivité.

Corollaire #1 : pour pouvoir établir un chemin entre les différents nœuds n d'un sous-graphe G' d'un graphe G , il faut que tous les nœuds n du sous-graphe G' soient déjà existant.

Corollaire #2 : si certains nœuds n n'existent pas pour pouvoir établir le chemin d'un sous-graphe G' d'un graphe G , alors il faut appliquer les règles suivantes afin d'obtenir ou non les nœuds n manquants :

1. Si le numéro du nœud de départ < numéro du nœud d'arrivée alors l'ensemble A sera établi à partir du nœud de départ et l'ensemble B à partir du nœud d'arrivée. Autrement, si le numéro du nœud de départ > numéro du nœud d'arrivée alors l'ensemble A sera établi à partir du nœud d'arrivée et l'ensemble B à partir du nœud de départ.
2. Établir un sous-ensemble A par chaînage avant récursif de toutes les connexions possibles pour le nœud effectif à $A + 1$ jusqu'à ce que revienne la séquence du nœud effectif à A .
3. Établir un sous-ensemble B par chaînage arrière récursif de toutes les connexions possibles pour le nœud effectif à $B + 1$ jusqu'à ce que revienne la séquence du nœud effectif à B .
4. Faire l'intersection de A et B pour obtenir un ensemble C .
5. Trier par ordre ascendant les éléments de C .
6. Le premier élément de C sera le point de jonction des deux ensembles A et B .
7. Si le point de jonction est le premier élément de l'ensemble B , alors la probabilité qu'il existe un lien direct entre le nœud de départ et le nœud d'arrivé est élevée.
8. Si le point de jonction s'éloigne de $n+1$ par rapport au premier élément de B , plus la probabilité d'un lien direct entre le nœud de départ et le nœud d'arrivée faiblit d'autant.

La notion ici présentée de *point de jonction* est fort différente de celle de l'intersection.

L'intersection définit ce qui est commun à deux ensembles. Le point de jonction, que l'on obtient par tri ascendant sur une intersection et dont on extrait le premier élément, sert à indiquer ce qui fait réellement jonction entre deux ensembles. C'est-à-dire, un point charnière sur lequel peuvent s'appuyer deux ensembles pour permettre l'identification d'un seul élément qui est la cause de l'autre. Dans le cas de notre démonstration, le point de jonction est *Moubarak* et c'est grâce à lui que *Hilary* et *Tansu* ont éventuellement pu se rencontrer.

6.8 Prouver l'invariance d'échelle et l'émergence de $f(x,y)$ en énonciation

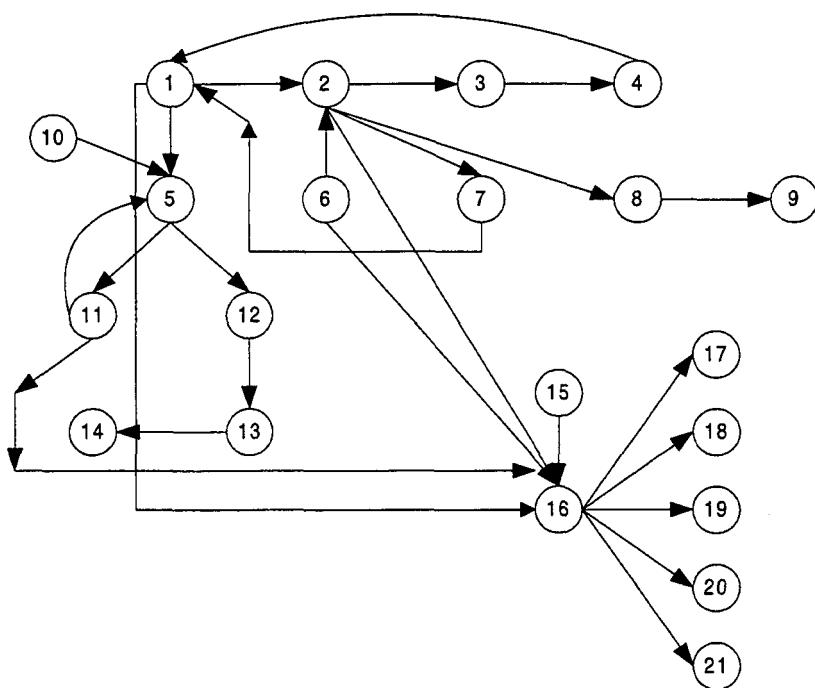
Nous avons déjà spécifié que les verbes en langue servent de fonction et qu'ils permettent une montée en abstraction par le biais de sélections et de renforcements. Si la chose est vraie, le réseau devrait de par lui-même reflété cet état de fait. Rajoutons, pour ce faire, les phrases suivantes :

- Le président boit du scotch.
- Clinton boit de l'eau.
- Hilary boit du vin.
- Moubarak boit du café.
- Tansu boit de la tisane.

Reportons maintenant ces nouvelles phrases dans le réseau associatif précédent et établissons-en le graphe orienté tel que démontré dans le tableau #2.

Tableau #8 : Application augmentée

1	président	2	5	16		
2	Clinton	3	7	8	16	
3	assisté	4				
4	gala	1				
5	Moubarak	11	12		16	
6	Hilary	2		16		
7	femme	1				
8	prononcé	9				
9	discours					
10	épouse	5				
11	Tansu	5		16		
12	aide	13				
13	pauvre	14				
14	pays					
15	chat	16				
16	boit	17	18	19	20	21
17	lait					22
18	scotch					
19	eau					
20	vin					
21	café					
22	tisane					

Figure #7 : Graphe orienté augmenté sur système ouvert

Le nouveau graphe orienté représentant l'ajout de ces nouvelles relations nous démontre que le nœud *boire* (16) offre plus de connexions vers d'autres autant à l'entrée qu'à la sortie que d'autres nœuds. Vu sous un autre angle, le réseau associatif nous démontre que le nœud 16 connaît une forte distribution dans l'ensemble du réseau. De ceci nous dégagerons les axiomes suivants :

- Axiome #1 : Une fonction émerge du graphe en autant que son nœud offre à la fois une grande capacité connective entrante et sortante.
- Axiome #2 : L'ensemble des nœuds pointant vers une fonction relèveront au moins d'une catégorie.
- Axiome #3 : L'ensemble des nœuds en provenance d'une fonction relèveront au moins d'une catégorie.
- Axiome #4 : Lorsque les axiomes #1, #2 et #3 sont satisfaits et que l'on peut appliquer l'une des quatre règles de connectivité, alors il y a existence effective d'une fonction applicative.

Donc, les axiomes que nous avons présentés sont équivalents à la description d'un processus opératoire, donc isomorphe. Nous pouvons en dégager trois lois au niveau énonciatif :

Loi #1 : Une fonction n'a de validité qu'en fonction du système dans lequel elle s'applique.

Loi #2 : L'existence d'une fonction n'est possible que si l'on peut appliquer sur celle-ci des axiomes qui la font émerger.

Loi #3 : Une fonction décrit un mode d'interaction entre les éléments d'un système et est par conséquent applicative.

Nous avons donc démontré que $f(x,y)$ est invariant d'échelle et que les processus opératoires et les axiomes sont vraiment isomorphes tant au niveau neuronal qu'au niveau énonciatif tel que nous le démontre le tableau suivant.

Tableau #9 : Isomorphie neuronale et énonciative

Niveau neuronal processus opératoire	Niveau énonciatif processus opératoire	Axiomes	Quantification
L'apparition correspond à $(\forall x)(\forall y) f(x,y)$, ce qui signifie que tout x et tout y peuvent potentiellement vérifier fs .	L'apparition correspond à $(\forall x)(\forall y) f(x,y)$, ce qui signifie que tout x et tout y peuvent potentiellement vérifier fs .	<u>Axiome #1</u> : Une fonction émerge du réseau associatif en autant que sa distribution dans le réseau offre à la fois une grande capacité connective entrante et sortante.	Universelle
Le développement correspond à $(\forall x)(\forall y)(\exists x)(\exists y) f(x,y)$, ce qui signifie que pour tout x et pour tout y il existe au moins un x et un y qui vérifie fs .	Le développement correspond à $(\forall x)(\forall y)(\exists x)(\exists y) f(x,y)$, ce qui signifie que pour tout x et pour tout y il existe au moins un x et un y qui vérifie fs .	<u>Axiome #2</u> : l'ensemble des nœuds pointant vers une fonction relèveront au moins d'une catégorie. <u>Axiome #3</u> : L'ensemble des nœuds en provenance d'une fonction relèveront au moins d'une catégorie.	Existentielle
La stabilisation correspond à $(\forall x)(\forall y)(\exists x)(\exists y) f(x,y)$, ce qui signifie que pour tout x et tout y il n'existe qu'un seul x et un seul y qui vérifie fs .	La stabilisation correspond à $(\forall x)(\forall y)(\exists x)(\exists y) f(x,y)$, ce qui signifie que pour tout x et tout y il n'existe qu'un seul x et un seul y qui vérifie fs .	<u>Axiome #4</u> : Lorsque les axiomes #1, #2 et #3 sont satisfaits et que l'on peut appliquer l'une des quatre règles de connectivité, alors il y a existence effective d'une fonction applicative.	Singulière

Trois lois peuvent se dégager de l'ensemble de nos observations en ce qui concerne l'émergence d'une fonction :

Loi #1 : Une fonction n'a de validité qu'en fonction du système dans lequel elle s'applique.

Loi #2 : L'existence d'une fonction n'est possible que si l'on peut appliquer sur celle-ci des axiomes qui la font émerger.

Loi #3 : Une fonction décrit un mode d'interaction entre les éléments d'un système et est par conséquent applicative.

Ces lois, axiomes et règles décrivent, dans notre position ensembliste, un fonctionnement de l'énonciation. C'est-à-dire que nous considérons ce graphe comme étant à la fois connaissance et mécanisme de construction de cette même connaissance par l'émergence de $f(x,y)$, laquelle fonction conduit à des catégorisations notionnelles. De plus, comme nous avons déjà postulé que le processus opératoire est invariant d'échelle, c'est-à-dire qu'il peut s'appliquer à tous les niveaux, tant biologique, que neuronal que symbolique, nous avons vérifié le postulat.

Conclusion

Bien que le chapitre VI de notre mémoire présente des pistes intéressantes afin d'élaborer un système formel permettant de décrire des processus de montée en abstraction, nous sommes tout à fait conscient qu'il nous reste un important travail de recherche à effectuer relativement aux systèmes ouverts eux-mêmes. Dans cette perspective, nous avons déjà dégagé les principaux points que nous avons à peine effleurés et qui se doivent d'être traités car, si on y regarde de près, dans la nature, peu de phénomènes sont régis par des lois quantitatives exactes et précises comme avait pu le faire Newton avec la mécanique céleste. Les systèmes ouverts tels le cerveau, le corps humain ou l'ensemble des organismes vivants ne se prêtent pas à la quantification pour la simple raison qu'ils sont trop complexes. Voici d'ailleurs quelques considérations relatives aux systèmes ouverts et qu'il nous faut constamment avoir à l'esprit si nous désirons en faire l'évaluation :

1. Bien que l'on puisse admettre que chaque élément simple d'un système ouvert répond à des critères bien précis ainsi qu'à des propriétés bien définies, il n'en reste pas moins que ce n'est pas en faisant la somme de chacun de ces éléments que nous comprendrons le fonctionnement d'un système ouvert. En fait, on ne peut pas déterminer les propriétés d'un système ouvert à partir des propriétés de chaque élément simple d'un système. Par exemple, le sel de table (NaCl) est composé d'un gaz toxique, le chlore et d'un métal hautement explosif lorsque mis en contact avec l'eau, le sodium. Et pourtant, lorsque les deux atomes se combinent ils produisent un composé tout à fait utile pour notre organisme. Autre exemple, s'il fallait décider si oui ou non, à partir des propriétés de l'hélium, on peut arriver à la vie, nos chances de prédiction tomberaient presqu'à zéro. Et pourtant, si trois

noyaux d'hélium s'assemblent, on obtient du carbone. Et le carbone est à la base de la composition de tous les organismes vivants ! On peut donc supposer que mettre ensemble différents éléments simples, c'est produire quelque chose de nouveau sans pour autant être une addition des propriétés de base de chaque élément simple. Posons-nous maintenant la question suivante : à partir des propriétés des éléments simples que sont le carbone et l'oxygène, pourrait-on prédire l'émergence des organismes vivants ? Il y a fort à parier que non. C'est donc là l'un des critères de base des systèmes ouverts, à savoir que mettre ensemble des éléments simples produit de la nouveauté.

2. Le second critère correspond quant à lui à l'organisation. Un système est organisé. C'est-à-dire que sa structure possède différents niveaux, lesquels niveaux, eux-mêmes organisés, entrent en interaction les uns avec les autres. Par exemple, le corps humain possède deux grandes organisations : l'organisme et le génome. Les deux, pris séparément, ne donnent rien. Le génome représente le stockage de l'information et le mode de fonctionnement, un genre de programme en quelque sorte qui exploite l'information, tandis que l'organisme, quant à lui, assure les échanges énergétiques et le métabolisme. Par exemple, si je me coupe un doigt, l'organisme déclenche des signaux de détresse. Les gènes (niveau génétique) qui dictent comment réparer la coupure enclenche alors un programme de réparation et active les cellules (niveau organisme) qui feront le travail de coagulation approprié. On constate que ces deux grandes organisations sont elles-mêmes des systèmes qui possèdent de multiples niveaux d'organisation et qui interagissent entre elles.
3. Un système ouvert se maintient dans un flux entrant et sortant continuels, dans une construction et déconstruction persistantes de composantes. Le chimiste Ilya Prigogine a fort bien démontré en ce sens que tout organisme vivant, pour se maintenir, doit procéder à un processus d'échanges énergétiques avec son environnement externe. On dira alors que le système est *loin de l'équilibre* car il crée constamment des états de déséquilibre à partir de la différence entre l'énergie absorbée et l'énergie dégagée ou dissipée. En somme, on peut dire qu'un système ouvert assure son équilibre interne ou homéostasie en créant des déséquilibres externes par des échanges énergétiques. Dès que le système ouvert cesse ses échanges énergétiques, il cesse d'être un système ouvert : il « meurt ». Aussi paradoxal que la chose puisse paraître, l'équilibre se maintient par le déséquilibre.
4. Le système ouvert s'auto-organise. Le mécanisme à la base de cette auto-organisation est la rétroaction. Elle permet au système de comparer les résultats obtenus aux résultats attendus. Les informations reçues par ce mécanisme de rétroaction sont sélectives et renforcées afin d'assurer leur

pertinence. De cette pertinence dépend le fonctionnement du système ouvert. C'est à Norbert Wiener, père fondateur de la cybernétique ou science du contrôle par rétroaction, que revient le fait d'expliquer comment un processus renvoie le résultat d'un contrôle vers un mécanisme régulateur.

5. Si le système ouvert peut s'auto-organiser, c'est donc que le système ouvert peut intervenir pour modifier ses propres mécanismes. Le produit de ces modifications peut être utilisé par d'autres systèmes avec lesquels il a des échanges. On peut donc dire qu'un système n'existe alors qu'en relation avec d'autres systèmes, mais c'est le résultat produit par chacun de ces systèmes qui les lient.
6. Un système ouvert a tendance à augmenter la différenciation des parties composantes et à multiplier les rôles spécialisés. C'est cette tendance qui permet la spécialisation et la catégorisation.
7. Un système ouvert peut, à partir de conditions différentes, parvenir à des résultats similaires.

Il nous faut donc admettre que si nous avons l'intention de comprendre le fonctionnement du cerveau en tant que sous-système ouvert d'un plus grand système ouvert, il est impensable de décrire l'ensemble des mécanismes qui le dirigent. On ne peut alors que dégager des probabilités de comportement et de réactions de ce système ouvert.

Une bonne dose d'humilité nous force à admettre que notre compréhension du comportement du cerveau est à la fois un mélange des mécanismes connus et explorés et d'une grande majorité que nous ne connaissons pas et dont nous ne savons strictement rien.

Par exemple, le neurophysiologiste aime à considérer que le neurone ne possède que deux états : inhibé/excité. Cela simplifie grandement sa tâche, mais il pêche par excès de réductionnisme car le neurone est lui-même un système ouvert complexe qui interagit avec d'autres neurones et des systèmes ouverts complexes tels que les neurotransmetteurs. Donc, ce n'est pas en additionnant les propriétés de tous les différents neurones du cerveau que l'on comprendra le fonctionnement du cerveau. Ce serait expliquer *obscurus per*

obscurum. On le voit bien, les systèmes ouverts se prêtent fort bien à une approche globaliste. La complexité pourrait être ici considérée comme étant de nature qualitative.

Bibliographie

AMIT, D.J., *Modeling Brain Function, The world of attractor neural networks*, Cambridge, Cambridge University Press, 1989.

BEARDSLEY, T., *The Machinery of Thought* , in Trends in Neuroscience, Science, <http://www.sciam.com/> 0897issue/0897trends.html, 1997.

BENVENISTE, E., *Linguistique générale*, Tome I, coll. Tel, Paris, Gallimard, 1996, p.225-236.

BROCA, P., *Remarques sur le siège de la faculté du langage articulé, suivies d'une observation d'aphémie (perte de la parole)*, in Bulletin de la société d'anthropologie, 2^e série, août 1861, 6 : 330-357, (in HÉCAEN H., DUBOIS J., *La naissance de la neuropsychologie du langage : 1825-1865*, Paris, Flammarion, 1969, p. 61-91)

CHENEY, D.L., SEYFARTH, R.M., *Attending to behaviour versus attending to knowledge : examining monkey's attribution of mental states*, in Animal Behaviour 40 : 742-753, 1990.

CHENEY, D.L., SEYFARTH, R.M., SMUTS B., *Social relationships and social cognition in nonhuman primates*, Science, 234 : 1361-1366, 1986.

CHOMSKY, N., *Structures syntaxiques*, Seuil, Paris, 1969, p.15.

CORDEMOY, G., *Discours physique de la parole*, Paris, 1668, p.19.

CREUTZFELD, O.D., *Inevitable deadlocks of the brain-mind discussion*, in B. Guylas (ed.) *The Brain-Mind Problem*, Assen/Maastricht : Leuven University Press, van Gorcum, 1987, p.3-27.

DEJERINE, J., *Sur un cas de cécité verbale avec agraphie, suivi d'autopsie*, in Comptes rendus hebdomadaires des séances et mémoires de la société de biologie, 9^e série, 21 mars 1891, 3 : 97.

DENTON, D., *L'Émergence de la conscience de l'animal à l'homme*, coll. Champs, Paris, Flammarion, 1995, p. 38.

ECCLES, J., *Évolution du cerveau et création de la conscience*, coll. Champs, Paris, Flammarion, 1994, p.111.

EDELMAN, G., *Neural Darwinism : the Theory of Neuronal Group Selection*, New York, Basic Books, 1987.

FAGOT, J., DERUELLE, C., *Processing of Global and Local Visual Information and Hemispheric Specialization in Humans (*Homo sapiens*) and Baboons (*Papio papio*)*, in Journal

of Experimental Psychology, 23 :2, 1997.

GALLUP, G.G. *Self- Recognition in Primates*, in American Psychology, 1977, 32 :329-338.

GESHWIND, N., *Disconnection Syndromes in Animals and Man*, in Selected Papers on Language and the Brain, Reidel, 1974.

GOLDMAN-RAKIC, P.S., *Working Memory and the Mind*, in Scientific American, 1992, p. 111-117.

HEYES, C.M., *Theory of Mind in Nonhuman Primates*, C. M. Heyes & B. G. Galef. Academic Press., 1997, p. 101-134.

HINTON, G.E., *Learning Distributed Representation of Concepts*, in Proceedings of the Eight Annual Meeting of the Cognitive Science Society, Hillsdale, N.J., 1986.

HOLLAND, J.H., HOLYOAK, K.J., *Induction, Processes of Inference, Learning and Discovery*, Cambridge, Mass., MIT Press, 1987.

KHUN, T., *La structure des révolutions scientifiques*, coll. Champs, Paris, Flammarion, 1983, p.31.

KREBS, J.R., DAWKINS, R., *Animal signals : Mind reading and manipulation*, in Behavioural Ecology, eds J.R. Krebs & N.B. Davies, Blackwell Scientific Publications, 1984.

LENNEBERG, E.H., *Biological Foundations of Language*, New York, Wiley, 1967.

LENNEBERG, E.H., *On Explaining Language*, Science, 1969, 164 : 635-43, [101, 103, 127].

LEPSCHY, G.C., *La linguistique structurale*, Paris, Payot, 1976, p.20.

LUMSDEN, C., WILSON, E.O., *Promethean Fire : Reflections on the Origin of mind*, Cambridge, Harvard University Press, Mass., 1983.

McCLELLAND, J.L., *Explorations in Parallel Distributed Processing*, vol. 2, Cambridge, Mass., MIT Press, 1988.

MILLNER, B., *Hemispheric Specialization : its scope and limits*, in F.O. Schmitt and Worden, F.G. (eds) *The Neurosciences*, 3rd Study Program, Cambridge, Mass., MIT Press, 1974.

MILNER, B., TAYLOR, L., *Right hemisphere superiority in tactile pattern recognition after cerebral commissurotomy : evidence for non verbal memory*, Neuropsychologia 10 :1-15, 1974.

MORAVEC, H., *Mind Children*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1990, p. 1-2.

NEUMANN, J.VON., *L'ordinateur et le cerveau*, coll. Champs, Paris, Flammarion, 1996, p.113.

PÉCHOUIN, D., *Thésaurus : des idées aux mots, des mots aux idées*, Paris, Larousse, 1995.

PREMACK, D., PREMACK, A.J., *The Mind of Ape*, Norton, 1982.

PREMACK, D., WOODRUFF, G., *Does the chimpanzee have a theory of mind?*, in Behavioral and Brain Sciences, 4 :515-526, 1978.

PRYGOGINE, I., *Le désordre créateur*, in Tribune libre d'Ilya Prigogine, Serveur IRCAM - CENTRE GEORGES-POMPIDOU, 1995.

PRYGOGINE, I., *Les lois du chaos*, coll. Champs, Paris, Flammarion, 1994, p.21.

PRYGOGINE, I., *L'ordre issu du chaos*, in Tribune libre d'Ilya Prigogine, Serveur IRCAM - CENTRE GEORGES-POMPIDOU, 1995.

ROSENFIELD, I., *L'invention de la mémoire*, coll. Champs, Paris, Flammarion, 1994, p.165.

RUMELHART, D.E., McCLELLAND, J.L., et al., *Explorations in Parallel Distributed Processing*, vol. 1, Cambridge, Mass., MIT Press, 1986.

SEBEOK, T.A., UMIKER-SEBEOK, D.J., *Speaking of Apes*, New York, Plenum Press, 1980.

THOM, R., *Paraboles et catastrophes*, coll. Champs, Paris, Flammarion, 1983, p.140.

UNGERLEIDER, G., COURTNEY, S.M., HAXB, Y.V., *A neural system for human visual working memory*, in Papers of NAS Colloquium on Neuroimaging of Human Brain Function, 1998, 95: 883-890.

VARELA, F.J., *Invitation aux sciences cognitives*, coll. Sciences-Points, Paris, Seuil, 1989, p.11.

VIGNAUX, G., *Le discours acteur du monde*, Paris, Ophrys, 1988, p.102.

WEISBUCH, G., *Dynamique des systèmes complexes, une introduction aux réseaux d'automates*, Paris, InterEditions/Editions du CNRS, 1989.

WERNICKE, K., *The symptom complex of aphasia*, in Boston Studies in the Philosophy of Science, COHEN, R.S., WATOFSKY, M.W., Boston, Reidel, 1966, 4 :36.

WILLEMS, D., *Syntaxe, lexique et sémantique : contribution à une sémantique linguistique du verbe français*, Gent, Rijksuniversiteit Gent, 1981, 275 p.

WILLS, C., *La sagesse des gènes*, coll. Champs, Paris, Seuil, 1991, p.169.