A QUOI SERT LA LOGIQUE DANS LES SCIENCES COGNITIVES ?

Alain LECOMTE

Université Pierre Mendès-France, Grenoble 2.

LORIA - équipe Calligramme
Campus scientifique - B.P. 239
54506 Vandœuvre-lès-Nancy
Email : lecomte@shm.grenet.fr

INTRODUCTION

A quoi peut bien servir la logique, du point de vue des sciences cognitives? Cette question a de l'importance et la réponse à y donner ne va pas de soi. Tout le monde accepte volontiers l'idée, du moins je le crois, que l'étude de l'esprit (au sens de "mind" en anglais) inclut nécessairement celle de la capacité à faire des inférences et celle de la capacité de langage. Mais une fois cela admis, vient la question de savoir si la logique est bien la discipline appropriée pour cela... De fait, l'histoire de la philosophie montre une opposition classique entre une logique "science de l'esprit" (le propos de G. Boole n'était-il pas de mettre à jour les "lois de l'esprit"?) attachée à l'étude des fonctionnements cognitifs et une logique au contraire totalement détachée de telles considérations. On peut même prétendre que l'intervention de Husserl dans ce débat a fait définitivement basculé la philosophie de la logique dans la deuxième orientation. La logique n'étudierait pas les opérations mentales, le raisonnement "naturel" des sujets humains, mais plutôt les conditions par lesquelles un tel raisonnement peut être dit correct. Ce qui inévitablement fait apparaître le problème de la véritable nature des lois de la logique. A une époque pas si ancienne, Piaget avait tenté de renouveler le débat en faisant desdites lois des "structures d'équilibration". Autrement dit, il avait émis l'hypothèse d'un développement cognitif du sujet, partant des tout premiers schèmes sensori-moteurs et qui, par paliers successifs, au moyen du processus de "l'abstraction réfléchissante", aurait conduit l'esprit du sujet à un équilibre caractérisé par des propriétés de composition et de réversibilité exprimées par le fameux groupe INRC. De nombreux travaux depuis (on peut se reporter par exemple à [Andler, 1995] ont mis en évidence le caractère très idéaliste d'une telle construction: il est loin d'être acquis que tous les sujets ayant atteint le "stade des opérations formelles" deviennent par la même occasion des experts en logique...

Il est très difficile d'admettre que l'esprit humain fonctionne comme un calcul logique au sens classique du terme. Les objections à cela sont nombreuses et bien connues [Bechtel & Abrahamsen, 1993], en particulier s'il en était effectivement ainsi, les individus appliqueraient leur système cognitif de manière très rigide: au moindre dysfonctionnement, "la machine serait en panne", de même que, comme on le sait, une inconsistance dans un système logique entraîne immédiatement l'incohérence complète de tout le système (le fait par exemple que toute formule y soit à la fois vraie et fausse). Par contre en l'absence de tels dysfonctionnements, elle marcherait "trop bien", c'est-à-dire qu'on ne verrait pas de raison pour laquelle les individus se tromperaient dans leurs raisonnements. Autre point souvent souligné: la conception symbolique sous-jacente à la logique privilégie le caractère séquentiel des traitements, ce qui est incompatible avec l'extrême rapidité des réactions du sujet dans maintes situations comme la compréhension du langage ou certains automatismes de raisonnement.

Mais est-ce à dire pour autant qu'il faille exclure tout recours à des modèles logiques dans l'approche de la cognition? Je ne le pense pas.

UN OUTIL D'ANALYSE

En fait, les images proposées autrefois dans le cadre du cognitivisme, sur la base de la logique, étaient naïves. Que certains schémas ("règles d'inférence") soient utilisables dans le cadre de l'étude du raisonnement mathématique n'implique pas que ces schémas soient les "causes" des comportements déductifs que nous observons. Plutôt donc que se précipiter vers une conception d'un calcul logique comme étant la description de ce qui se passe effectivement "dans le cerveau", on doit être moins ambitieux et admettre simplement que de tels calculs donnent une description "d'un autre niveau" que celui, de base, où s'effectuent les véritables processus intellectuels. On objectera inévitablement : quel est cet "autre niveau"? et est-il vraiment nécessaire? Certes, des philosophes cogniticiens (comme les matérialistes "éliminationnistes") nient une telle nécessité. Pour eux, il n'y a qu'un niveau physique de base auquel doivent se réduire tous les phénomènes mentaux. Mais quand bien même cela serait, il nous serait (et nous sera toujours?) très difficile d'analyser ces phénomènes directement à partir des états physiques, autant que si nous devions comprendre un programme informatique à partir de son code-machine. Dans les deux cas, esprit comme machine, la logique se révèle être alors un extraordinaire outil d'analyse (à défaut d'être une "matière première"!).

LOGIQUE ET INFORMATIQUE

Ainsi peut-on essayer de répondre à la question initiale ("à quoi sert la logique?") au moyen de cette autre question: que fait le logicien aujourd'hui? Invente-t-il des systèmes formels "pour le plaisir"? A-t-il la prétention, comme certains de nos grands ancêtres l'avaient (ce en quoi, à leur époque ils n'étaient pas blâmables: c'est aussi avec des ambitions démesurées qu'on fait progresser la science!) de construire une "langue universelle" (Leibniz, Frege)? une théorie de l'esprit et de son fonctionnement (Boole)?

Ce qui frappe le plus lorsqu'on observe aujourd'hui la localisation et les préoccupations des équipes de logique, c'est leurs liens profonds avec l'informatique. La logique a ainsi connu depuis une vingtaine d'années un regain d'intérêt considérable à partir du moment où on s'est aperçu qu'elle n'était pas vouée à l'étude de problèmes de fondements des mathématiques un peu nébuleux, mais qu'elle fournissait l'outil rêvé pour l'écriture de programmes informatiques et pour l'établissement de la preuve de leur correction, et où on s'est aperçu également que si on pouvait faire les deux en même temps (écrire et prouver) ce n'en serait que mieux. Il y a donc bien eu là "découverte" d'une fonction opérationnelle de la logique. Elle s'exerce à propos d'une activité qu'on commençait de savoir faire (écrire des programmes) mais qui, face aux problèmes énormes qui surgissaient (dus à la complexité notamment), nécessitait l'intervention d'un outil d'analyse fiable. A ce moment, des travaux de logique qui n'intéressaient plus guère alors que quelques philosophes en nombre très réduit se sont mis à occuper le devant de la scène. Il s'agit particulièrement des travaux en *logique intuitionniste* (une logique développée dans les années trente - quarante par Brouwer, Heyting et quelques autres). La raison en était la propriété remarquable de cette logique, appelée *isomorphisme de Curry-Howard*, selon laquelle de toute preuve qui y est formulée on peut extraire un algorithme.

On peut dire ainsi que *la logique intuitionniste est apparue comme un langage de haut niveau* apte à synthétiser des opérations plus concrètes comme les instructions à l'oeuvre dans un programme et en même temps capable d'en proposer une analyse permettant de comprendre comment des programmes fonctionnent.

L'INTERET D'UNE LOGIQUE "CONSTRUCTIVE"

Et c'est là, me semble-t-il, que l'on attend l'intervention de la logique dans les sciences cognitives: non dans sa possibilité de pourvoir celles-ci d'un modèle naïf mais dans celle de proposer un langage de haut niveau permettant d'analyser des phénomènes complexes qui, si on restait au niveau le plus bas, s'avéreraient inextricables ou bien traitables seulement localement, un peu à la manière des "hackers" informaticiens.

Je vais donner dans ce qui suit quelques exemples, mais avant, il faut insister sur le changement qui découle de cette perspective "constructive" en logique, dans la logique elle-même et dans sa philosophie. La logique classique repose sur une sémantique dite tarskienne (de Alfred Tarski, célèbre logicien polonais, 1902-1983), qui est à base de valeurs de vérité. Le "sens" d'une formule est réduit à sa valeur de vérité (V ou F) et se calcule (pour la logique propositionnelle) selon une procédure récursive basée sur la notion de table de vérité. Evidemment, il y a eu des arrangements et des accommodements: on a pu parfois utiliser des logiques dites "multivalentes" reposant sur plus de deux valeurs de vérité. Ces logiques se sont toujours heurtées à des paradoxes incontournables [Urquhart, 1986] et ne sont au mieux que des extensions de la logique bivalente. Le véritable changement vient lorsqu'on remplace [Girard, Lafont, Taylor, 1989 : 5] la question "quand une phrase A est-elle vraie?" par la question: "qu'est-ce qu'*une preuve* de A?", autrement dit quand on déplace l'attention de la notion statique de *vérité* d'une formule vers celle de *preuve* de cette formule. Au lieu d'identifier une proposition à V ou à F, on l'identifie alors à l'ensemble de ses preuves, ce qui est une notion bien plus riche. Et on voit que, ce faisant, on a autant de moyens de définir la sémantique des connecteurs usuels qu'avec les tables de vérité. Qu'est-ce que $A \wedge B$? C'est l'ensemble des couples (a, b) où a est une preuve de A et b une preuve de B. Qu'est-ce que $A \Rightarrow B$? C'est l'ensemble des fonctions qui associent à une preuve de A une preuve de B. Qu'est-ce que l'absurdité $\perp$? C'est ce qui n'a pas de preuve, autrement dit l'ensemble vide de preuves, et la négation $\neg A$ l'ensemble des fonctions qui associent à une preuve de A, une preuve de l'absurdité (façon de dire que si A est "vraie" - c'est-à-dire possède une preuve - alors $\neg A$ conduit à l'absurde) et ainsi de suite. Cette sémantique est dite "de Heyting" pour l'opposer à celle de Tarski.

Appliquée au langage naturel, elle conduit à une nouvelle conception de la sémantique brillamment exposée dans [Ranta, 1994]. Evidemment, dans la langue de tous les jours, il n'y a pas de "preuve", au sens mathématique du terme. Il y a néanmoins des actes, des gestes, des événements qui portent témoignage de l'authenticité d'un énoncé, de la même manière qu'une preuve "porte témoignage" de la vérité d'une formule mathématique. On trouve ce genre d'idée chez de nombreux philosophes (y compris Heidegger) même si elle est exprimée sous d'autres formes. Ranta (op. cit.) cite la notion de "truth-maker" chez K. Mulligan et la notion d'*événement* chez Davidson ("la phrase *Amundsen flew over the North Pole* est rendue vraie par un vol fait par Amundsen au-dessus du Pôle Nord"). On peut élaborer une théorie permettant de représenter puis de manipuler de tels "objets-preuves". Cela a été fait dans le domaine des mathématiques par P. Martin-Löf, sous le nom de "Théorie Constructive des Types" (qui s'inscrit dans le prolongement de la tradition intuitionniste) et a été appliqué au langage par l'auteur cité. L'originalité de cette théorie est que les variables sur lesquelles on quantifie sont des preuves (et pas seulement des "individus" ou des "objets") et qu'on peut avoir des preuves associées aux entités nominales comme aux phrases. On trouve dans cette théorie la solution de problèmes comme celui des *donkey-sentences* (un problème posé originellement par le logicien P. Geach et abondamment traité depuis, notamment par H. Kamp dans sa "Théorie des Représentations Discursives"). Considérons la phrase:

(1) *if a farmer owns a donkey, he beats it.*

On ne peut pas la traduire par compositionnalité en logique classique des prédicats (car en principe *a former owns a donkey* se traduit par : ($\exists$x, $\exists$y, farmer(x) $\wedge$ donkey(y) $\wedge$ owns(x,y)) mais la traduction de la phrase (1) contient un quantificateur universel $\forall$y à la place de $\exists$y).

Sans donner ici le détail de la solution, indiquons qu'elle se glose de la manière suivante: étant donnée n'importe quelle "preuve" z d'"un fermier qui possède un âne", une telle preuve étant un couple formé de la "preuve" d'"un fermier" et de la "preuve" d'"un âne que ledit fermier possède", il est toujours possible de prendre certaines "projections" de cette preuve: elles permettront d'exprimer le deuxième membre de la phrase, le caractère universel de (1) s'exprimant par une quantification universelle sur cette preuve z. Ranta a montré qu'on pouvait formaliser une grande partie du langage naturel (syntaxe + sémantique) au moyen de cette théorie et qu'on pouvait en tirer des applications pratiques comme la génération automatique de textes mathématiques en langue naturelle à partir de preuves formelles [Ranta, 1997].

LA LOGIQUE LINEAIRE: UNE LOGIQUE DE CONTROLE DE RESSOURCES

L'accent mis sur la notion de preuve dans les systèmes logiques, c'est-à-dire soit sur le fait qu'on puisse manipuler ces preuves dans des expressions notamment afin d'exprimer le sens des phrases (mais aussi afin d'écrire des programmes informatiques directement à partir de ces preuves [Nordström et al, 1990], soit sur la découverte d'une sémantique des preuves (alors que jusque là on s'intéressait seulement à la sémantique des formules) a conduit à des développements nouveaux et intéressants. Ainsi, un phénomène remarquable est apparu en logique dans les quinze dernières années lorsque certains chercheurs comme J.Y. Girard ont voulu étendre la notion d'isomorphisme de Curry-Howard dont il était question plus haut, et examiner en détails les raisons pour lesquelles la logique classique n'avait pas les mêmes propriétés que sa cousine intuitionniste. Ce phénomène est "la sensibilité aux ressources". On peut en effet montrer [Girard et al., 1989 : 150) que si le contenu des preuves classiques ne peut pas être interprété algorithmiquement, c'est à cause de certaines règles, habituelles en logique, qu'on appelle "règles structurelles". Ce sont les règles qui nous permettent de gérer les formules dans leur espace, c'est-à-dire qui nous autorisent à les dupliquer, les permuter, voire même les effacer si le besoin s'en fait sentir. Or, en supprimant de telles règles, on obtient à nouveau une logique constructive qu'on appelle la "logique linéaire[1]" [Girard, 1987, 1990]. Cette logique a ceci de particulier qu'elle nous offre une analyse plus fine des constructions logiques que ne le fait la logique classique (et plus riche que ne le fait la logique intuitionniste). Le symbole d'implication "$\Rightarrow$" peut être analysé en deux autres symboles, plus primitifs: "--o" et "!", de sorte que :

$$A \Rightarrow B \equiv !A \text{ --o } B$$

L'interprétation intuitive de "A --o B" est: A permet d'obtenir B en présence de cette formule mais le processus d'inférence *ne peut être appliqué qu'une fois*. Quand il a été appliqué une fois, la prémisse A "n'existe" plus, elle a été "consommée". De plus, la prémisse A est nécessaire pour que cette inférence ait lieu. Quant au "!", il a pour mission de réintroduire à propos de la formule qui en est affectée une notion "d'inépuisabilité", de sorte que finalement le concept classique d'implication se ramène à celui de "consommation d'une ressource inépuisable". Les règles que l'on a supprimées sont les règles structurelles d'*affaiblissement* et de *contraction*. L'affaiblissement dit que si on peut prouver B à partir d'une liste de formules Γ, alors *a fortiori* on le peut à partir de Γ à laquelle on rajoute une formule quelconque A, la contraction que si on peut prouver B grâce à deux occurrences de A, on pourra le faire aussi bien avec une seule. On comprend bien que l'élimination de ces deux règles rende le système logique "sensible aux ressources", au sens où les formules y sont bel et bien traitées comme *des ressources*. On n'obtient pas la même chose, en termes de biens, si on rajoute une nouvelle ressource aux ressources disponibles : on obtient plus. De même on ne peut pas faire en présence d'une ressource A disponible une fois comme si elle était disponible plusieurs fois, ou alors la vie économique serait bouleversée! D'autre part, l'élimination des règles structurelles permet d'introduire une distinction marquée entre deux types de conjonction et deux types de disjonction: chaque fois, le connecteur est divisé entre son instance multiplicative (ou cumulative) et son instance additive. On établit ainsi une différence entre un "et" qu'on trouve dans : "j'utilise la ressource A **et** la ressource B" et un "et" qu'on trouverait dans : "je peux obtenir la ressource A **aussi bien que** la ressource B" (mais pas les deux: il faut choisir).

LOGIQUE LINEAIRE ET SCIENCES COGNITIVES

Etude du raisonnement pratique

Les utilisations et interprétations cognitives de la logique linéaire peuvent être nombreuses. Elles concernent principalement l'étude du raisonnement et la linguistique voire la pragmatique. A propos du raisonnement dit "naturel" ou "pratique", on aura pu remarquer la parenté entre la logique linéaire et la logique de la pertinence ("relevance logic") de Belnap et Anderson. De fait, la logique linéaire apporte beaucoup plus que cette dernière, qui est limitée simplement à la suppression de la règle d'affaiblissement (sans introduction d'opérateurs tels que le "!", qui permettent de "plonger" la logique classique dans le système étudié, et sans distinction entre les additifs et les multiplicatifs). Il n'existe pas encore à notre connaissance de recherche en psychologie expérimentale qui aurait pour tâche d'évaluer la validité d'un modèle à base de règles formelles fondées sur la logique linéaire (analogues à ceux de Braine et de Rips par exemple [Braine, 1990], [Rips, 1994] et [George, 1997]). Certains auteurs [Rips,1994] ont montré expérimentalement qu'une règle comme celle que l'on appelle "introduction de la disjonction" en logique classique (à partir de A, on peut toujours déduire A ou B) a une probabilité très faible d'être utilisée. Or justement cette règle est absente de la logique linéaire multiplicative. Si elle figure bien en logique linéaire additive, c'est avec une toute autre signification, qui pourrait se traduire par : si vous avez A, vous pouvez répondre à une demande pour A *ou n'importe quoi*. Autrement dit, l'interprétation se situe dans un cadre d'*interaction* entre deux actants (Girard n'a-t-il pas appelé *géométrie de l'interaction* certains aspects de l'étude sémantique de la LL?). N'y aurait-il

[1] Principalement à cause d'une interprétation possible de cette logique en termes d'algèbre linéaire.

pas ici une suggestion forte à apporter aux psychologues expérimentateurs, consistant dans l'idée que si certaines règles semblent "plus naturelles" que d'autres c'est parce que les individus se représentent mentalement les arguments d'une démonstration au moins partiellement comme des ressources? Autre suggestion: les individus se représenteraient les situations d'inférence comme des dialogues ou interactions imaginaires, où chaque actant serait mis devant un ensemble de choix.

Linguistique

En ce qui concerne la linguistique, les utilisations de la logique linéaire y sont nombreuses. Elles ont même existé... avant la logique linéaire (!) puisqu'un système logique qui s'avère en être le fragment intuitionniste, multiplicatif et non commutatif, le calcul de Lambek [Lambek, 1958, 1988], existe depuis 1958. Ce calcul est une formalisation logique de la notion ancienne de *grammaire catégorielle* [Desclés, 1990], pour laquelle les mots et expressions de la langue reçoivent des types dont les suites peuvent être réduites grâce à des règles. Cette conception est très riche en expressivité et a donné lieu à de nombreux travaux au cours des quinze dernières années (citons [Moortgat, 1988], [Morrill, 1995] et [Steedman, 1996]. Si elle ne fournit pas le remède miracle au problème de la formalisation du langage (loin de là!) elle n'en a pas moins apporté des solutions utiles qui ont été implantées dans plusieurs modèles de grammaires (comme LFG - *Lexical Functional Grammars* - dû originellement à Bresnan et Kaplan, ou bien HPSG - *Head-Driven Phrase Structure Grammars* - dû principalement à Pollard et Sag). Les théories syntaxiques contemporaines se sont attachées à trouver des formalisations pour des phénomènes syntaxiques très répandus à travers les langues, comme par exemple les "dépendances à longue distance". Il est surprenant que des phrases comme :

> *Quelle fresque l'auteur de ce livre d'art a jugé que Freud avait tort d'attribuer à Signorelli?*

puissent être interprétées sans faille par un locuteur natif et que cela puisse se produire quelle que soit la distance qui sépare le syntagme interrogatif *quelle fresque* de son site d'extraction (ici la position juste à droite de *attribuer*). Hors de toutes règles *ad hoc*, il est néanmoins possible de l'expliquer si on associe au syntagme interrogatif un type du genre S/(S/SN) - type "fonctionnel" qui, à toute fonction envoyant un SN (syntagme nominal) sur une phrase, associe une phrase - et que l'on utilise les règles facilement interprétables dans un calcul fonctionnel : $A/B\ B \rightarrow A$ et $A/B\ B/C \rightarrow A/C$[2]. En effet, on obtient pour *l'auteur de ce livre d'art a jugé que Freud avait tort d'attribuer* le type S/SN grâce à l'emploi de la deuxième règle, puis le type S pour l'ensemble de la phrase grâce à la première[3].

On voit ainsi qu'un phénomène cognitif attesté mais non explicable de manière évidente *a priori* peut donner lieu à une représentation simple par référence à un outil logique de portée générale.

Pragmatique

Signalons pour terminer cette revue des applications possibles que les systèmes qui ont une sémantique en termes de théorie des jeux (ce qui est le cas de la LL) se prêtent bien à l'analyse des situations d'interaction (nous l'avons déjà noté à propos de l'analyse du raisonnement pratique) et que, qui plus est, la notion de ressource (et de "relevance" qui lui est nécessairement associée) est importante pour modéliser l'action, ce qui nous conduit à la pragmatique. Ainsi, des applications de la LL existent concernant la *planification* [Masseron, 1995]. Elles modélisent les actions comme des changements d'états, un état étant associé à un ensemble de ressources. Lorsqu'une action est appliquée à un état, certaines ressources de l'état sont consommées et de nouvelles ressources sont produites pour participer à un nouvel état.

Logique ou théorie du traitement de l'information?

Nous nous sommes concentrés dans cet article principalement sur la logique linéaire et ses applications, mais nous aurions pu également, si nous avions eu plus de place, faire référence à d'autres théorisations nouvelles dans le champ de la logique qui ouvrent des possibilités passionnantes de "solution" de certains problèmes liés à la cognition. Ainsi la notion de "savoir mutuel" (*Common Knowledge*), malgré ses paradoxes apparents (dont le plus connu est celui de Conway), peut être parfaitement analysée au moyen de la théorie des "hyperensembles" (théorie des ensembles à laquelle on a simplement enlevé l'axiome dit "de fondation"[4] ce qui ne fait apparaître aucune contradiction dans la théorie) [Aczel, 1988], [Barwise & Moss, 1997].

Nous constatons ainsi, d'une façon générale, les succès que peut remporter la logique dans tous les domaines où nous sommes confrontés à des questions de *communication* (ce n'est pas un hasard d'ailleurs si la LL a été également appliquée en informatique à l'étude des structures de communication entre processus dans les architectures parallèles [Asperti, 1991]. Cela rejoint le slogan de J. van Benthem: *la logique comme théorie générale du traitement de l'information* par toutes sortes de systèmes (humains ou non) [van Benthem, 1990].

---

[2] Il est facile de voir que ces règles correspondent à des théorèmes courants de la logique linéaire intuitionniste: B--oA, B |-- A et C--oB, B--oA |-- C--oA, le calcul de Lambek ajoutant simplement une orientation à l'implication (qui se subdivise ainsi en deux instances: / et \).

[3] Les spécialistes de grammaires catégorielles objecteront que ce n'est pas si simple. En effet, le calcul de Lambek "pur" n'autorise que le traitement des extractions périphériques. Pour obtenir notre analyse, il faudrait donc d'abord un déplacement du SN manquant de la position juste à droite de *attribuer* vers la position finale de la phrase, ce qui n'est possible que dans un calcul de Lambek enrichi de "modalités permutationnelles".

[4] Axiome spécifiant qu'une chaîne d'appartenance doit nécessairement être finie

CONCLUSION

Pour l'étude de la cognition, nous nous trouvons face à un dilemme. Ou bien nous tentons d'expliquer les phénomènes cognitifs en nous cantonnant au plus près des mécanismes cérébraux, ce qui nous laisse désarmés devant l'analyse de phénomènes et de situations complexes qui sont pourtant au coeur de notre vie quotidienne. Ou bien nous nous attaquons à rendre intelligibles ces phénomènes et situations, mais alors apparaît inéluctablement la nécessité d'un langage de haut niveau pour cela, et qui soit plus qu'un simple "langage" au sens d'une pure syntaxe (comme l'entendait un Carnap), qui soit un langage véhiculant des concepts précis ayant une signification rigoureuse manipulée par des règles, c'est-à-dire une logique, et évidemment, de ce fait, nous nous éloignons de la base biologique. Il peut évidemment y avoir plusieurs tels systèmes, chacun se trouvant associé à un champ de phénomènes particulier mais nul n'empêchera le logicien de travailler alors à leur rapprochement, voire leur unification. Après tout, l'espace de la cognition est tout aussi sérieux que celui de la physique. Si dans cette dernière, plusieurs théories ont vu le jour pour rendre compte de phénomènes éloignés (théorie quantique, relativité), ce qui a conduit depuis à d'immenses efforts en vue d'une unification, il n'est pas anormal qu'il en aille de même dans le champ "de l'esprit". Dernier point, on aura remarqué l'accent mis dans ce texte sur la perspective "d'analyse" des phénomènes. Nous établissons en effet une distinction entre *recherche d'explications* et *analyse* pour un phénomène donné. La première nous ramène nécessairement au niveau des composants de base: nous aurons une explication de la cognition le jour où les fonctionnements cérébraux auront été parfaitement maîtrisés. La seconde ne formule pas une telle requête, elle se définit simplement par une recherche de plus d'intelligibilité, laquelle peut être satisfaite par bien d'autres perspectives que l'analyse finale consistant en l'explication dernière. C'est parce qu'il semble qu'il y ait beaucoup de chemin à parcourir pour atteindre l'explication, que la logique a, en tant que théorie abstraite des systèmes informationnels, encore de beaux jours devant elle.

BIBLIOGRAPHIE

[Aczel, 1988] Aczel, P. 1988, Non-well-founded Sets, CSLI, Lecture Notes n°14, Stanford.

[Andler, 1995] Andler, D. 1995, "Logique, raisonnement et psychologie" (p 23-76) in Dubucs & Lepage (eds) *Méthodes logiques pour les sciences cognitives*, ed. Hermes, Paris.

[Asperti, 1991] Asperti, A. 1991, 'A Linguistic Approach to Deadlock', rapport du LIENS, 91-15, E.N.S. Paris.

[Barwise & Moss, 1997] Barwise J. & Moss, L. 1997, *Vicious Circles*, CSLI Publications, Stanford.

[Bechtel & Abrahamsen, 1993] Bechtel, W. & Abrahamsen, A., 1993, *Le connexionnisme et l'esprit, introduction au traitement parallèle par réseaux*, La Découverte, Paris.

[Van Benthem, 1990] van Benthem, J. 1990, *Language in Action, Categories, Lambdas and Dynamic Logic*, North-Holland, Amsterdam.

[Braine, 1990] Braine, M.D.S. 1990, The "natural logic" approach to reasoning, in Overton (ed.) *Reasoning, Necessity and Logic*, Hillsdale, NJ, Erlbaum.

[Desclés, 1990] Desclés, J.P. 1990, *Langages applicatifs, langues naturelles et cognition*, Hermes, Paris.

[George, 1997] George, C. 1997, *Polymorphisme du raisonnement humain, une approche de la flexibilité de l'activité inférentielle*, Psychologie et Sciences de la Pensée, PUF, Paris.

[Girard, 1987] Girard, J.Y. 1987, 'Linear logic' *Theoretical Computer Science* , 50 , 1987, 1-102.

[Girard, 1990] Girard, J.Y. 1990, 'La logique linéaire', Pour la Science n°150.

[Girard et al., 1989] Girard, J.Y., Lafont, Y. & Taylor, P. 1989, *Proofs and Types*, Cambridge Tracts in Theoretical Computer Science, 7, Cambridge University Press, Cambridge.

[Lambek, 1958] Lambek, J. 1958, 'The Mathematics of Sentence Structure' *American Mathematical Monthly*, **65**, pp 154-170.

[Lambek, 1988] Lambek, J. 1988, ' Categorial and Categorical Grammars', in Oehrle, R., Bach, E.and Wheeler, D. (eds)*Categorial Grammars and Natural Languages Structures*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht et Boston.

[Masseron, 1995] Masseron, M. 1995, 'Une application de la logique linéaire: la planification déductive' (p121-164) in Dubucs & Lepage (eds) *Méthodes logiques pour les sciences cognitives*, ed. Hermes, Paris.

[Moortgat, 1988] Moortgat, M. 1988, *Categorial Investigations. Logical and Linguistic Aspects of the Lambek Calculus,* Dordrecht, Foris.

[Morill, 1995] Morrill, G.1995, *Type Logical Grammar*, Categorial Logic of Signs, Kluwer.

[Nordström et. al, 1990] Nordström, B., Peterson, K. & Smith, J. 1990, *Programming in Martin-Löf's Type Theory, an introduction*, Oxford Science Publications, Clarendon Press, Oxford.

[Ranta, 1994] Ranta, A. 1994, *Type Theoretical Grammar*, Oxford Science Publications, Oxford.

[Ranta, 1997] Ranta, A. 1997, 'Structures grammaticales dans le français mathématique', *Mathématiques, Informatique et Sciences Humaines*, n° 138 (pp 5-56) et n°139 (à paraître).

[Rips, 1994] Rips, L.J. 1994, *The Psychology of Proofs*, Bradford Book & MIT Press, Cambridge et Londres.

[Steedman, 1996] Steedman, M. 1996, *Surface Structure and Interpretation*, MIT Press, Londres et Cambridge.

[Urquhart, 1986] Urquhart, A. 1986, 'Many-valued Logic', in Gabbay & Guenthner eds. *Handbook of Philosophical Logic*, volume III, D. Reidel Pub.